
Массовая радио библиотека
МРБ
переработанное и дополненное
2-е издание
А. Щедрин, И. Осипов
МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ
ДЛЯ ПОИСКА КЛАДОВ И РЕЛИКВИЙ
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
Hot Line Teleco



Основана в 1947 году
Выпуск 1232

А. Щедрин, И. Осипов

МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ ДЛЯ ПОИСКА КЛАДОВ И РЕЛИКВИЙ

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Москва
«Радио и связь»
«Горячая линия – Телеком»
2000

УДК 902.32
ББК 63.4
Щ36

Щедрин А. И., Осипов И. Н.

Щ36 Металлоискатели для поиска кладов и реликвий. –М.: "Радио и связь", "Горячая линия – Телеком", 2000 – 192 с., ил. – (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1232).

ISBN 5-256-01456-0

Изложены теоретические основы электронных металлоискателей, используемых для поиска кладов и реликвий. Сформулированы важные для практических целей выводы и ценные советы. Рассмотрены практические вопросы, связанные с различными видами поисковых работ. Приведено описание оригинальных конструкций металлоискателей различной сложности, пригодных для повторения в любительских условиях.

Для широкого круга читателей.

ББК 63.4

Справочное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып 1232

Щедрин Андрей Игоревич
Осипов Илья Николаевич

ИБ №2881

ЛР № 061888 от 19.12.97

Подписано в печать 01.04.99. Формат 60×88 1/16 Бумага газетная Гарнитура PragmaticaПечать офсетная Печ. л. 12,0 Доп. тираж 3000 экз. Изд. № 112
Заказ 3903

Издательство «Радио и связь», 101000 Москва, Почтамт, а/я 693
Издательство «Горячая линия—Телеком»

Отпечатано в Производственно-издательском комбинате ВИНИТИ, 140010, г. Люберцы, Московской обл., Октябрьский пр-т, 403. Тел. 554–21–86

ISBN 5-256-01456-0

СОДЕРЖАНИЕ

*"Да не **ми-но-и-ска-тель** это!!! Не хотим мы мины искать!"*

Крик души.

ВВЕДЕНИЕ

Почему написана эта книга

Исторически сложилось, что в нашей стране такие интересные с точки зрения электроники устройства, как металлоискатели, практически всегда оставались в тени. Специальной литературы по металлоискателям, доступной читателю, практически нет. Это неудивительно - "серьезные" применения металлоискателей (см. [1], [2]) всегда были ограждены от простого читателя всевозможными грифами, а "несерьезные" считались идеологически ущербными и просто не публиковались.

Данная книга посвящена как раз "несерьезным" применениям электронных металлоискателей - поиску кладов, военных и исторических реликвий. Кстати, сам процесс поиска кладов раньше также не мог найти подробного отражения в технической и научно-популярной литературе, так как в нем усматривалась пропаганда нетрудового (!) обогащения.

Мысль изложить накопленный материал в виде книги пришла одному из авторов – Щедрину А. И. после многолетних экспериментов с собственными металлоискателями. Подробное изучение технических решений зарубежных фирм (например, [3]), открыло всю сложность возникаю-

щих проблем и неограниченный простор для творчества. Беседы со многими энтузиастами показали, что сколько-нибудь серьезными техническими познаниями по данной тематике обладает очень узкий круг людей, а интерес к практической информации по данной тематике (и не только технической!) – очень велик.

Металлоискатели как хобби Щедрина А. И. удачно совпали с его профессиональной подготовкой инженера по разработке электронных схем, что обеспечило должный уровень конструкций. За годы изучения данного вопроса накопился значительный материал, который остался невостребованным. Удачные технические решения принесли разработчику большое удовлетворение, и натолкнули его на нестандартную для нашего времени мысль поделиться ими со всеми желающими.

В результате, первое издание книги, вышедшее в мае 1998 года, дало не только целую волну откликов от читателей, но и собрало группу единомышленников, среди которых оказался Осипов И. Н., внесший свой вклад в книгу, которую вы сейчас читаете.

По мнению обоих авторов, большинство технической литературы в настоящее время относится, скорее к документации – будь то литература по программному обеспечению или по ремонту бытовой техники или компьютеров. Иными словами, это только констатация фактов, которая не несет принципиально новых знаний. Безусловно, такая литература может научить самым тонким секретам мастерства, но это – лишь мастерство ремесленников.

Авторы призывают отечественных книгоиздателей (на бюрократические структуры, которым по долгу службы следовало бы заниматься подобными вопросами, надежды

мало) последовать своему примеру и уделить внимание такой литературе, которая способствовала бы развитию технического творчества, развитию отечественной науки и техники, а не только компьютеризации офисов. В противном случае, уже через двадцать лет у нас просто не будет собственных технологий. Невозможно представить себе авиаконструктора, который бы в детстве не сделал ни одной модели планера и не читал бы книжек «сделай сам», а ограничивался бы только инструкциями к пишущим машинкам!

Что в этой книге

Предлагаемая Вашему вниманию книга является, *во-первых*, пособием для начинающего кладоискателя - она не только адресует читателя к описаниям несметных сокровищ [4]-[15], но содержит целый ряд полезных практических рекомендаций по их поиску. Книга затрагивает целый спектр возникающих при этом проблем, в том числе юридических и связанных с вопросами безопасности.

Во-вторых, книга является пособием для любителей, увлеченных конструированием электронной аппаратуры. Все описанные конструкции опробованы на практике и могут быть рекомендованы к повторению в условиях домашней лаборатории.

В-третьих, книга может быть полезна студентам институтов и колледжей с углубленным изучением физики.

Книга состоит из восьми глав. **Первая** глава – обзорная и содержит краткую историческую справку.

Вторая глава – это руководство к действию для начинающих кладоискателей.

Третья глава содержит классификацию приборов, используемых для поиска кладов, военных и исторических реликвий, по принципу действия. Наиболее часто используемые типы электронных металлоискателей рассмотрены подробно - приведены теоретические сведения, рассмотрены преимущества и недостатки.

Четвертая глава содержит ответ на важный с точки зрения практики вопрос о том, какой металлоискатель лучше. Естественно, этот ответ содержит только точку зрения авторов. Однако, эта точка зрения подкрепляется изложенными в предыдущей главе теоретическими соображениями и многолетним опытом.

В **пятой** главе содержится информация о реальных возможностях металлоискателей, которая будет особенно полезна неискушенным новичкам. Эта глава разрушает часто возникающие заблуждения и иллюзии.

Шестая глава знакомит с описанием принципиальных схем и конструкций металлоискателей, разработанных Щедриным А. И.

В заключительной **седьмой** главе изложены идеи о перспективах развития электронных металлоискателей, представляющие по мнению авторов определенный интерес и предлагаемых читателям для дальнейшего самостоятельного развития.

Первая и вторая главы написаны Осиповым И. Н., главы с третьей по седьмую написаны Щедриным А. И.

Благодарности

Щедрин А. И.

Автор выражает глубокую благодарность своим школьным учителям - Атемасовой Нине Григорьевне, Булгаковой Ларисе Васильевне, Проханову Олегу Алексеевичу за воспитание уверенности в истинной ценности знаний.

Автор выражает глубокую благодарность своему институтскому учителю - доценту кафедры Электроники МИФИ Плешко Анатолию Дмитриевичу.

Автор выражает глубокую благодарность жене Марине и сыну Антону за поддержку и терпение.

Автор выражает глубокую благодарность всем российским и зарубежным читателям, откликнувшимся на первое издание книги и сделавшим второе издание более подробным и точным.

Осипов И. Н.

Автор выражает глубокую благодарность соратникам по поискам Булгаку Льву Васильевичу и Степанову Алексею Николаевичу за поддержу и ценные советы при написании настоящей книги.

Автор выражает глубокую благодарность жене Анне, сыну Даниилу и дочери Таисии, не только с пониманием относящимся к моим "кладоискательским" увлечениям, но и всегда сопровождающим меня в полевых выездах.

1. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В 20-е годы в США были разработаны приборы, обнаруживающие инструменты и готовые изделия, выносимые рабочими с заводов. Приборы назывались металлодетекторы (metal detector дословно - металлообнаружитель). Металлодетекторами или, по-русски, "металлоискателями" заинтересовались военные. Во время Второй мировой войны быстро развивалась техника обнаружения металлов, и было разработано специальное оборудование для поиска мин. После войны оно дешево распродавалось в США, и многие люди быстро оценили возможности миноискателей при поиске зарытых сокровищ и золотых самородков.

Послевоенные металлоискатели работали на вакуумных лампах, были громоздки и потребляли много энергии. Лишь в середине 60-х годов были созданы малогабаритные, стабильные и чувствительные приборы, которые могли различать металлы и позволяли отстраиваться от влияния окружающей среды.

С каждым годом расширяется область использования металлоискателей в самых различных сферах.

Для военных металлоискатель - это прежде всего миноискатель. Здесь не требуется способность прибора различать металлы. До недавнего времени не требовалась и высокая чувствительность, однако с появлением пластиковых мин ситуация изменилась: в пластиковой или керамической мине осталась одна незаменимая металлическая деталь - маленькая пружина во взрывателе. Обнаружить ее способен только высокочувствительный прибор. Как ни

удивительно, у нас пока еще засекречены технические разработки на приборы времен Великой Отечественной войны, хотя в Московских магазинах свободно продается современная американская техника. Российская армия до недавних пор обходилась только отечественными миноискателями (прибор ИМП-1). В последнее время, по разным причинам, миноискателей собственного производства стало резко не хватать, и в телевизионных репортажах из горячих точек бывшего Союза то и дело мелькают наши солдаты с американскими приборами в руках.

В охранных структурах и криминалистике металлоискатель применяется сейчас шире, чем где-либо. Любой человек сталкивался с подобными приборами при входе в банк, аэропорт или ночной клуб. Прежде всего - это "ворота", при проходе через которые можно обнаружить даже незначительные металлические предметы. Бывает, в человеке после хирургической операции остается металлический объект (например титановые стержни при переломах костей). Тогда на помощь секьюрити приходит небольшой металлоискатель для личного досмотра. Им без труда и с высокой точностью локализуется подозрительный предмет. Подобными приборами обязательно оснащены подразделения внутренних войск, охраняющие места лишения свободы. На Западе террористы часто практикуют посылку писем с заложенными в них взрывчатыми устройствами, в основном - в средства массовой информации. Пытаясь защититься от этого, крупные учреждения имеют специальные приборы для проверки входящей почтовой корреспонденции.

Ни одно уважающее себя ***предприятие по производству пищевых продуктов*** (не в России), будь то кондитерская фабрика, или колбасный цех, не обходится без метал-

лоискателя. До недавнего времени в нашей стране обнаружение в пищевых продуктах посторонних предметов грозило предприятию - изготовителю не более чем упреками в халатности и заметкой в местной газете под рубрикой "Позор бракоделам"... Сейчас это может повлечь судебное разбирательство, а в странах с более развитыми структурами потребительского рынка попадание, скажем, гвоздя в колбасу - верный путь к банкротству мясоперерабатывающего комбината (придать такой факт огласке позаботятся его конкуренты) и судебной ответственности персонала. Естественно, что лучше потратить несколько сотен долларов на прибор, чем оплачивать потом судебные издержки.

Незаменимы ***металлоискатели в строительстве*** и в процессе ремонтных работ. Подумайте, как обойтись без этого прибора, если Вам нужно составить проект реконструкции старого здания, на которое отсутствуют чертежи расположения балок и других несущих конструкций (нельзя ведь долбить памятник архитектуры где попало); а если необходимо проследить как проходит в земле трубопровод или электрический кабель (не перекапывать же все вокруг); или просто Вы хотите просверлить электрической дрелью отверстие в стене своего дома, то незнание расположения проводки может стоить Вам жизни. Спасти Вашу жизнь или избавить от ненужной работы поможет металлоискатель.

В ***процессе обработки древесины,*** особенно поступающей из пригородных лесов, в стволах попадаются гвозди и другие металлические предметы. Избежать поломки пилы или другого оборудования можно только, проверив древесину металлоискателем. Специальная рамка, установленная перед циркулярной пилой, автоматически остановит транспортер при обнаружении металла в древесине.

При сортировке мусора ***на мусороперерабатывающих предприятиях*** возникает необходимость избавить, например, макулатуру от металлических предметов. Хорошо, если предметы - железные, и их можно удалить магнитом. Обнаружить и удалить немагнитные металлические объекты можно только индукционным металлоискателем.

При ***добыче полезных ископаемых***, особенно самородного золота, металлоискатель просто незаменим. Многие прииски в Америке, Австралии и других странах пережили второе рождение, когда при помощи металлоискателей производительность труда старателей увеличилась в десятки раз. Российских золотодобытчиков подобная "революция" еще ждет: металлоискатели только начинают появляться на бескрайних просторах Зауралья.

Археологу металлоискатель поможет определить наиболее перспективное место для детальных раскопок, даст возможность извлечь интересные находки там, где сплошные раскопки просто невозможны по разным причинам (см. [16]-[20]) .

Бок о бок с археологами работают ***искатели кладов и сокровищ*** (см. [15] и [21]) . Ни с чем нельзя сравнить радость открытия - будь то первая найденная старинная монета, потерянный столетия назад перстень, или клад древних украшений. Действительно, поиск сокровищ захватывает каждого, кто взял в руки металлоискатель. Именно при разработке оборудования для кладоискателей приборы достигли наибольшего совершенства в чувствительности и дискриминации (отсеивании нежелательных находок). Поиск потерянных людьми предметов, своего рода "домашняя археология", в Америке достиг больших размахов. Существуют клубы поисковиков, коллекционеров находок, например,

пряжек от ремней или запонок. Издаются специальные журналы. За рубежом, работают десятки фирм, производящих оборудование для кладоискателей (см. например, [3] и [22]). Данная область досуга представлена и в Интернете (см. [23]-[24]).

В соответствии с назначением и кругом решаемых задач кладоискательские приборы подразделяются на ([25]):

- *приборы для начинающих* - дешевые приборы, ориентированные для поиска на пляжах и хорошо подходящие для приобретения начального опыта работы с металлоискателями; такие приборы обладают 1-2 органами управления и имеет чаще всего 1 режим работы - динамическую дискриминацию;

- *универсальные приборы* - ориентированные на решение широкого круга задач - от развлечений на пляже до серьезного поиска “сокровищ”. Для работы с такими приборами требуется некоторая подготовка; приборы имеют несколько режимов работы, среди которых обязательно есть статический режим точного обнаружения;

- *компьютеризированные приборы* - предназначенные для подготовленных пользователей, позволяют осуществлять детальный анализ скрытых объектов по размеру, металлу и глубине; их настройка осуществляется обычно с помощью небольшой клавиатуры и ЖКИ дисплея;

- *глубинные* - приборы для поиска больших объектов на большой глубине (2-6 м);

- *подводные* - герметичные приборы для поиска сокровищ на дне водоема.

Сейчас практически любой из рассмотренных типов приборов можно купить или заказать в России.

2. КРАТКИЙ КУРС МОЛОДОГО КЛАДОИСКАТЕЛЯ

2.1. Особенности поиска

Исторические реликвии

Прежде всего, давайте четко обозначим, что же такое реликвии. Слово это произошло от латинского reliquiae - останки, остатки. Оно определяется Энциклопедическим словарем как "предметы особо чтимые и хранимые как память о прошлом". Таким образом, практически любой предмет, даже банка из-под Кока-Колы (если она произведена в 1922 году), может стать реликвией - смотря как к ней относиться: хранить как память о прошлом или выбросить как мусор.

Если вы считаете, что найденный вами при помощи металлоискателя предмет не относится к категории мусора, то это - скорее всего реликвия. Тут сразу один совет. Не пытайтесь чистить находку ничем, кроме мягкой щетки с мыльной водой. Для удаления окислов с поверхности металла ни в коем случае не используйте кислоту или абразивные материалы. Многие начинающие искатели, и я в том числе, в начале своей искательской деятельности безвозвратно портили ценнейшие находки, подчас достойные быть музейными экспонатами.

Какие же исторические реликвии могут стать вашей добычей? Давайте по порядку.

Монеты всегда считаются одними из самых информативных археологических находок, поскольку по монете можно определить год ее выпуска и таким образом обозна-

чить давность поселения. Монеты можно найти практически везде. Во все времена человек носил при себе деньги. И всегда часть денег бывала попросту потеряна. Пройдите по берегу реки, по старой лесной дороге, по детской площадке или просто по полю вдоль деревни - и всегда среди ваших находок будут монеты. Естественно, найти арабский дирхем или монету Рязанского княжества значительно сложнее, чем пригоршню советской мелочи. Найдя монету, не ленитесь ее определить, заглянув в соответствующий каталог. И среди обычных, на первый взгляд, советских монет попадаются редкие и очень ценные разновидности.

Для определения монет понадобится следующая литература. Монеты периода 1917 - 1991 гг. без труда определяются по каталогу Щелокова [26]. Монеты дореволюционного периода от начала регулярной монетной чеканки при Петре I в 1700 г. до 1917 г. можно найти в каталогах Орлова [27] и Узденникова [28]. С более ранними монетами сложнее. Если монеты периода от Ивана Грозного до Петра I собраны в труде Мельниковой [29], то по монетам удельных княжеств лучшего определителя, чем вековой давности каталог Орешникова [30] пока нет. Наибольшие сложности возникают при определении Татарских монет, ходивших на Руси в период Золотоордынского Ига и арабских дирхемов, обращавшихся до начала 11 века. Для этих монет единых каталогов и справочников нет и нужно обратиться за помощью к специалистам нумизматам, и лучше - не с ближайшей нумизматической толкучки, а к музейным работникам.

Ювелирные изделия, как и монеты, попадаются практически везде, где в древности находились люди. Чаще всего это кольца, перстни, серьги, всевозможные подвески и нашивные бляшки. Преобладают изделия из меди и ее спла-

вов, реже попадаются серебряные украшения. Золотые предметы на Руси всегда отличали знатного и очень богатого человека, поэтому вероятность найти при помощи металлоискателя старинное золотое украшение практически равна нулю. Только в конце 19 - 20 веках золото становится более доступно, и выкопать современную золотую серьгу или обручальное кольцо вполне реально.

Нательные кресты и талисманы терялись едва ли не чаще чем ювелирные изделия. Каждый человек на Руси носил крест и хотя бы раз в жизни терял его. Чаще рвалась шелковая нить, хотя автору попадались и кресты, у которых от многолетнего ношения было перетерто нитью ушко. Большинство нательных крестов - бронзовые, редко попадаются и серебряные. Если повезет, можно найти талисманы или, как их тогда называли, "обереги" дохристианского периода. Это миниатюрные пилы, топорики величиной 2 - 3 см., фигурки животных, бубенчики для отпугивания нечистой силы и т. п.

Оружие и его части оставлялись человеком как на местах битв, так и в процессе охоты. Под оружием здесь понимается холодное оружие минувших веков, а не наследство последней войны, которыми обильно усеяна земля в местах боев. Прежде всего, встречаются наконечники стрел. Это, пожалуй, самая массовая находка. Наконечники копий и топоры более редки. Несбыточной мечтой собирателя реликвий является меч. Находка меча почти невозможна, поскольку меч в древности был великокняжеским оружием и потеря его на поле боя, как наконечника стрелы или копья, практически исключена.

Бытовые предметы можно найти самые разнообразные. Это пряжки, пуговицы, ножи, ножницы, детали кон-

ской упряжи, сельскохозяйственные орудия. Нередко очень трудно определить предназначение той или иной находки. Один знакомый долгое время бился над загадкой маленького бронзового предмета наподобие ложечки. Вещь явно древняя, но область применения ее с первого взгляда не определялась. После длительных поисков в литературе и консультаций со знающими людьми выяснилось, что это "копоушка" - приспособление для чистки ушей, бытовавшее на Руси в раннем средневековье. Иногда бывает ценна не сама находка, а весь тот процесс познания, который связан с ее определением.

Нежелательные находки – то, что мы определяем как мусор, не всегда таковым являются. Один известный поисковик, которого никак нельзя назвать новичком, преуспел в собирании коллекции водочных пробок.

Здесь нужно сказать особо об алюминиевой водочной пробке. Это тот тип мусора, от которого практически невозможно защититься. Даже самый дорогой компьютеризированный прибор не может с уверенностью опознать водочную пробку, поскольку, она каждый раз может быть порвана или смята по-разному. Диапазон сигналов от водочных пробок включает и мелкие ювелирные изделия, и некоторые монеты, и массу других ценных находок. Чтобы их не пропустить, приходится выкапывать и все пробки от водки.

И еще один совет. Найдя "нежелательную находку" никогда не выбрасывайте ее в зоне поисков, чтобы не натыкаться на нее вторично. Не поленитесь собирать мусор, и выбросить его в стороне от места поисков.

Клады

Как гласит фольклор поисковиков: "Чтобы найти клад, нужно точно знать, где он зарыт". Как не смешно это звучит, но это так. Поиски клада по принципу "от забора и до обеда" успеха не принесут. Здесь главное - информация, наводка, подсказка. Это может быть народная легенда, старая карта, семейное предание или просто собственная интуиция и сопоставление исторических событий. И металлоискатель здесь играет, хотя и важную, но второстепенную роль. Итак, где же искать клад?

Прямая информация - наиболее точно указывает путь к возможному кладу. Обычно это относится к кладам не старше 200 лет, и чаще всего речь идет о кладах революционных лет периода 1916 - 1930-х годов. В этот срок включен как последний предреволюционный год, когда самые догадливые уже прикапывали домашнее золото, и продолжается с небольшими перерывами до момента "уничтожения кулачества как класса", когда выселяемому в 24 часа ничего не оставалось, как спрятать ценные вещи в подвале или на чердаке собственного дома. В дальнейшем, после 1935 года кладов почти не зарывали - прятать уже было нечего.

Носители подобной информации очень часто обращаются в специализированные фирмы с просьбой помочь отыскать сокровища деда или прадеда. Мы всегда рады помочь людям вновь обрести семейные ценности. Такие поиски почти всегда заканчиваются успешно. Один раз в кладе, помимо фамильных драгоценностей, находились документы, подтверждающие дворянское происхождение рода и акку-

ратно завернутый в тряпочку, смазанный револьвер. И то и другое в начале 20-х годов хранить дома было небезопасно. Правда, иногда ценность клада оказывается намного ниже усилий, потраченных на его поиск. Как-то в кладе, представлявшем из себя небольшую железную коробочку, находилось 12 Николаевских полтинников и медаль Русско-Японской войны, хотя в семейном предании фигурировал как минимум горшок с золотом.

Косвенная информация и интуиция поисковика не сулят стопроцентного успеха, но могут осчастливить наиболее сообразительного искателя. Как издавна говорится на Руси: "Клады сыскиваются головой, а не лопатой". Многострадальная история нашего государства изобиловала войнами и внутренними катаклизмами. Татарские набеги сменялись опричниной, за войнами и революциями следовали притеснения государственных чиновников. Во все эти тяжелые периоды люди были озабочены мыслью, как уберечь свою жизнь и ценные вещи. С жизнью все понятно, а куда могли прятать богатство в трудную минуту?

Во-первых - в доме, в его самых труднодоступных местах - на чердаке и в подполе. Во-вторых - в саду, как правило - в углах под столбами забора или под самыми толстыми деревьями. Так, один знакомый нашел клад в дупле старой груши. Будучи положен в дупло, мешочек с монетами через некоторое время провалился в полость гнилой сердцевины ствола. Только металлоискатель смог опознать наличие в стволе монет. Часто клады зарывались на торговых путях, по берегам рек, опять же в приметных местах, на холмах, под большими камнями и т. п.

Таким образом, призвав на помощь все свое воображение, попробуйте представить, где люди могли бы зарыть

клад в минуту опасности. Затем, вооружитесь металлоискателем и вперед - на поиски!

Примерно по этим принципам ведется сейчас поиск "клада Степана Разина", "клада разбойничьего атамана Тяпки", "золотой кареты Наполеона", "клада Колчака" и многих других громких кладов, существование которых не дает спокойно спать искателям.

Оружие и военные реликвии

Говорят, что идея "Пикника на обочине" братьев Стругацких была навеяна весьма нефантастическими реалиями. До 1968 года в лесах под Ленинградом стояла военная техника, валялись снаряды и оружие. А огромные заминированные территории со времен войны были огорожены колючей проволокой, и соваться туда за весьма определенной добычей решались лишь самые смелые и отчаянные. Да и под Минском буквально до начала семидесятых можно было найти не только неразорвавшуюся гранату, оружие или снаряды, но и сохранившийся в приличном состоянии танк (см. [31]). Потом технику увезли, леса разминировали, а от всей этой экзотики остались лишь поисковики - следопыты, которые ходят искать в известные только им места.

Представьте себе, что будет с винтовкой, если она пролежит сорок пять лет в земле? Скорее всего, она превратится в ржавый хлам, который, сохранит лишь форму. Хотя, это - смотря где пролежит.

Если начинающий следопыт отправляется на поиски, он чаще всего мечтает найти исправное оружие. Через это прошли все, когда-либо причислявшие себя к копателям военных реликвий. Пройдя через радость обладания настоя-

щим, подлинным боевым вооружением, искатели обнаружили, что на просторах отчизны прямо под ногами лежат вещи, добывать которые менее опасно, но более выгодно. Таким образом, все следопыты разделились примерно на три категории: **красные**, **черные** и **белые**.

Красные следопыты - школьники или энтузиасты с потревоженной совестью, буквально понявшие слова о том, что война не закончена, пока не похоронен последний солдат. Иногда они работают не столько ради цели, сколько ради процесса, имеющего воспитательное значение. Удивительно, но они до сих пор существуют.

Черные следопыты, в худшей своей ипостаси, - мародеры, которые занимаются в основном раскопками кладбищ. В лучшем случае - поисковики-профессионалы, которые хорошо знают, что из найденного можно выгодно продать.

Белые следопыты считают себя профессионалами, которым лес может дать что-то для установления исторической правды. Они сотрудничают с аналогичными международными организациями, например, с Международным Красным Крестом или западными музеями военной техники.

В теории это деление - четкое. В реальной же жизни все они перемешаны, и большинство следопытов становятся серыми. Они имеют свое представление о добре и зле и при этом не прочь поторговать своими трофеями. Деление на цвета условно: красные со временем могут легко стать черными. Слишком разными путями люди попадают на места боев. И слишком часто, отправляясь на поиск, следопыт не может предположить, чем же он увенчается и что станет добычей: солдатский жетон, закопанный чайный сервиз или

штык-нож, и в какой цвет - белый или черный - окрасит его самого будущий трофей.

Территории, доставшиеся Советскому Союзу в результате Второй мировой войны, традиционно привлекали следопытов всех мастей, здесь поиск военной техники считался особенно привлекательным. Например, один поисковик рассказывал, что кое-где на Курильских островах до сих пор стоят японские самолеты и есть аэродромы с металлическим покрытием, под которым были размещены система отопления и подземные сооружения.

Много тайн последней войны предстоит еще открыть человеку с металлоискателем.

Поиск на пляже

В России эти виды поиска пока не очень распространены по нескольким причинам. Во-первых, на поверхности земли нетронутых мест для поиска еще предостаточно. Во-вторых, наша средняя российская женщина свои золотые украшения, как правило, бережет и в пруд или море по чем зря с ними не залезает. В-третьих, у берегов нашего государства не часто случалось тонуть галеонам с золотом. Так что, придется составить впечатление о поиске около воды и в воде по зарубежным источникам.

В разгар сезона на пляжах Нью-Йорка этих людей почти не видно: одетые в комбинезоны с двумя десятками карманов и вооруженные металлоискателями, они изредка проходят где-то вдали от кромки прибоя - так, на всякий случай, а затем все так же тихо удаляются. Но вот наступает вечер. Пусто становится на берегу, и к отмели устремляются десятки искателей сокровищ.

Пиком добычи считается период с сентября по октябрь. Особенно, если гуляют шторма, бури, ураганы. Лучшими «спонсорами» по праву считаются пожилые русские дамы, отдыхающие на Брайтон-Бич. Они то и дело теряют кольца и серьги с настоящими, чистой воды бриллиантами. Такие камни отыщешь разве что в самых престижных магазинах Америки. На соседних пляжах - Манхэттен-Бич и Кони-Айленд веселится по большей части молодежь. Здесь всегда можно найти кучу украшений, но подешевле - золотые браслеты «недельки», модные изделия современных дизайнеров, очки от «Пикассо» с металлической оправой (другие детектор просто «не уловит»). Массивные цепи и перстни оставляют, соответственно, на Орчерд - Бич и в Сигейте кубинцы и итальянцы. Есть и находки, которые приходится сдавать в полицию. Это оружие. Не те первые винчестеры, которыми пользовались участники гражданской войны, а самые современные пистолеты, явно заброшенные в море преступниками, заметающими следы.

Лига нью-йоркских охотников за сокровищами была образована в 1971 году. Пляжи уже тогда «обыскивала» добрая дюжина отменных искателей. Рано или поздно они должны были объединиться. Хотя бы для того, чтобы знать, какой участок уже «обработан» и где сегодня промышляет коллега.

Охотники за сокровищами стараются держать в тайне свои излюбленные места. Находит лишь тот, кто ищет. И для этого мало вооружиться металлоискателем - нужны знания и, главное, опыт.

2.2. Что делать со зрителями?

Вопрос, вынесенный в заголовок этого раздела, каждый решает в меру своей коммуникабельности и актерских способностей. Прежде всего нужно решить, полезен зритель при поиске или вреден. Однозначного ответа нет. Зритель полезен, видимо, тогда, когда проявляет искренний интерес и любознательность к процессу или вам лично. А вот если интерес только к количеству золота, которое вы нашли за сегодняшний день, то нужно освежить в памяти раздел "вопросы безопасности". Сориентироваться на месте вам поможет личный жизненный опыт и приведенные ниже поучительные истории из практики моих знакомых.

Вадим Д., мой приятель, страстный поклонник поиска на пляжах, в парках и других общественных местах приспособился извлекать из зрителей материальную выгоду. Всем зрителям он подробно объяснял: что, зачем, и как ищет. Ну и конечно, о том, как он поправил свое материальное положение. Народ у нас любопытный. Прибор металлоискатель многие видят впервые. Естественно, кому-то хочется купить подобный прибор. Таких людей мой приятель налаживал в фирму «Родонит», где за приведенного покупателя получал определенный процент от суммы покупки.

Алексей Р. рассказывал, как случилось ему однажды искать под Подольском на берегу речки Протвы, вблизи небольшой деревеньки. Невдалеке бабка пасла козу. Подошла с вопросом: "Когда же мост через речку начнут строить?" Приятель пробормотал что-то невразумительное и бабка отстала. Но не прошло и получаса, как собралось полдеревни. Вопрос один: "Когда мост начнут строить?" Как не разубеждал их Алексей, что не строитель он, что ищет потерянные

монеты и клады, - ничего не помогало. Народ был в полной уверенности, что основная его задача - разведка места под строительство нового моста. Алексея оставили в покое только после того, как он дал клятвенное обещание ускорить строительство всеми силами.

Однако, эти примеры - скорее исключение. Наибольшее число "встреч со зрителями" приходится на обычных жителей деревенской глубинки, пастухов и огородников, которые впервые видят металлоискатель и только самые смышленые догадываются что "это прибор для поиска мин". С ними общаться проще всего. Прикиньтесь человеком от науки: почвоведом, радиометристом, геологом, и т. д. Главное - со знанием дела заявить, что здесь, в этой местности обстановка нормальная, радиации нет и огурцами с огорода можно закусывать безбоязненно. Нагруженный подобной информацией зритель радостно убегает поделиться ею с соседом, а вы спокойно продолжаете заниматься любимым делом.

Если деревенские зрители маленькие, лет до 15-ти, то тут напротив, лучше рассказать поправдоподобнее - какие и когда здесь жили люди, и что после них можно найти. Любознательный ребенок после этого может целый день носить за вами лопату и помогать в процессе раскопок. Простая монета века восемнадцатого, подаренная ему в благодарность за помощь, не обеднит вас, а мальчишка будет хранить ее как реликвию и вспоминать "дядю археолога" добрым словом. Пустяк, а приятно.

2.3. Вопросы безопасности

Для многих кладоискательство - хобби, им важен не результат, а сам процесс. Одному нравится сидеть с удочкой на берегу реки, другому бродить по лесу с металлоискателем. По словам некоторых поисковиков, кладоискательство это заразная болезнь - найдя что-то один раз, будешь рыться в земле долгие годы. Летом покопаться в земле люди едут целыми семьями - с детьми, собаками и женами.

Однако многие ищут клады в одиночку, поскольку еще неизвестно, как поведет себя твой напарник, когда лопата в земле звякнет о что-то твердое. Пока ищешь - ты всего лишь обыкновенный человек, который копается в земле. Но если нашел – то тут уже может начаться и “золотая лихорадка”, и криминал.

Кладоискательские команды складываются годами – очень непросто подобрать товарищей по увлечению, которым будешь доверять больше, чем себе. Вот почему немало людей отправляются искать клад в полном одиночестве. И не забывают прихватить с собой оружие. Ну, хотя бы газовый пистолет. Так, - на всякий случай…

Автору не известно достоверных случаев нападений на кладоискателей в процессе полевых работ. Единственное, с чем можно столкнуться, да и то довольно редко - это неприязнь отдельных граждан, которая хорошо выражается словами из песни В. С. Высоцкого “Я в Москве с киркой уран найду, при такой повышенной зарплате” и “У них денег - куры не клюют, а у нас - на водку не хватает”.

Если спокойно вдуматься, конечно - должно быть обидно: мужик многие годы пашет на тракторе поле, и заработал при этом примерно столько же, сколько и приезжий

москвич, пробегавший по этому полю несколько дней с металлоискателем. Поэтому, чтобы не попасть в неловкую, а иногда и просто опасную ситуацию, остерегайтесь в разговорах заявлений типа: *“... в тот день я накопал долларов на сто”* и вообще - материальной стороны дела.

Даже если это для вас существенно, совсем не обязательно посвящать в эти проблемы окружающих. Богатое воображение слушателя может живо пририсовать к найденной Вам медной монете еще горшок с золотыми монетами, и особого расположения вам тогда не добиться. Ведь, как всегда, за кадром остаются сотни часов работы в библиотеках и архивах, хождение с металлоискателем под дождем или палящим солнцем и мозоли от лопаты.

2.4. Юридические аспекты поисков

Проблема взаимоотношения с законом волнует человека с металлоискателем не меньше, чем проблема безопасности при поисковых работах. Чаще всего решается она предельно просто: кладоискатель молчит обо всем, что связано с кладами или ограничивается общими фразами. Завеса тайны приоткрывается только для "товарищей по работе" и домашних. Если вы читаете в газете интервью с "известным кладоискателем", то скорее всего, это начинающий любитель, которого тянет поделиться собственным энтузиазмом с кем угодно. То есть, пока ты ничего не нашел, все нормально: в глазах окружающих ты что то среднее между тихим сумасшедшим и одержимым ученым. Но стоит найти клад - все мигом меняется и твоя персона становиться безумно интересна всем представителям власти как легальной,

так и теневой. И те, и другие очень любят прибрать к рукам все, что плохо лежит. А тут такой случай: человек клад нашел. И такая популярность почему-то совсем не радует. Поэтому немало людей отправляются искать клад в полном одиночестве.

Естественно, что человек с металлоискателем появился на просторах нашей Родины недавно, и законодательная база не была готова к его приходу. Другое дело - охотники или рыболовы, для которых законы писались еще сто лет назад. Однако, кое-какие законы и для нас найдутся.

Никаких федеральных законодательных ограничений на использование металлоискателей для поиска сокровищ сейчас на территории России не существует. Тем не менее, Вы должны знать все местные законы, касающиеся использования металлоискателя, действующие там, где вы собираетесь работать с прибором. Эти законы могут различаться в районе, области, автономии. Не нарушайте их, относитесь с уважением к частной или общественной собственности на землю.

Интересно, что во все времена возникала проблема: как делить найденный клад. В Древнем Риме до хрипоты спорили о том, принадлежит клад тому, кто его нашел, или тому, на чьей земле была сделана находка. В средневековье судьбу клада и самого кладоискателя решало то, самостоятельно ли было найдено сокровище или же с помощью злых духов. В царской России по этому поводу уже не спорили: если клад найден на твоей земле - он твой, а если на государственной - будь добр отдать его в казну. В Советском Союзе 25% от оценочной комиссии клада получал тот, кто его нашел, а все остальное шло в доход державе.

Давайте же вместе проанализируем, в каком правовом поле действует человек с металлоискателем в современной России. Вначале нужно уяснить, что мы выкапываем - либо это находка, либо клад. Отличие простое: клад это сразу и много, спрятано всерьез и надолго, а находка - это одна вещь, чаще всего в верхнем слое почвы, потерянная, а не спрятанная, хотя может быть ценнее иного клада. В зависимости от того, что вы выкопали - клад или находку, поступать с ними следует по-разному.

ГРАЖДАНСКИЙ КОДЕКС
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

(с дополнением на 12 августа 1996 года)
Принят Государственной Думой 21 октября 1994 года
Текст документа с дополнением, внесенным:
Федеральным законом от 20 февраля 1996 года N 18-ФЗ#S (Собрание законодательства РФ N 9, 26 февраля 1996 года, ст.773);
Федеральным законом от 12 августа 1996 года N 111-ФЗ#S (Собрание законодательства РФ, N34, 19 августа 1996 года, ст.4026).

Статья 227. *Находка*

1. Нашедший ***потерянную вещь*** *обязан немедленно уведомить об этом лицо, потерявшее ее, или собственника вещи или кого-либо другого из известных ему лиц, имеющих право получить ее, и возвратить найденную вещь этому лицу......*

2. Если лицо, имеющее право потребовать возврата найденной вещи, или место его пребывания неизвестны,

нашедший вещь обязан заявить о находке в милицию или в орган местного самоуправления.

Статья 228*. Приобретение права собственности на находку*

1. ***Если в течение шести месяцев*** *с момента заявления о находке в милицию или в орган местного самоуправления* ***лицо, управомоченное получить найденную вещь, не будет установлено*** *или само не заявит о своем праве на вещь нашедшему ее лицу либо в милицию или в орган местного самоуправления,* ***нашедший вещь приобретает право собственности на нее.***

Иными словами, нашли вы, к примеру, шлем Дмитрия Донского, потерянный им на Куликовом поле (а вдруг?!) Заявили об этом в милицию, как положено. Прошло шесть месяцев, и если Дмитрий Донской за шлемом не явится - шлем ваш. По закону так выходит. В гражданском кодексе не сказано, когда вещь потеряна, вчера или шестьсот лет назад.

Иное дело клад - тут в гражданском кодексе более подробные формулировки.

Статья 233. *Клад*

1. ***Клад****, то есть* ***зарытые в земле или сокрытые иным способом деньги или ценные предметы, собственник которых не может быть установлен либо в силу закона утратил на них право****, поступает в собственность лица, которому принадлежит имущество (земельный участок, строение и т.п.), где клад был сокрыт, и лица, обнаружившего клад, в равных долях, если соглашением между*

ними не установлено иное. При обнаружении клада лицом, производившим раскопки или поиск ценностей без согласия на это собственника земельного участка или иного имущества, где клад был сокрыт, клад подлежит передаче собственнику земельного участка или иного имущества, где был обнаружен клад.

2. В случае обнаружения клада, содержащего вещи, относящиеся к памятникам истории или культуры, они подлежат передаче в государственную собственность. При этом собственник земельного участка или иного имущества, где клад был сокрыт, и лицо, обнаружившее клад, имеют право на получение вместе вознаграждения в размере пятидесяти процентов стоимости клада. Вознаграждение распределяется между этими лицами в равных долях, если соглашением между ними не установлено иное. При обнаружении такого клада лицом, производившим раскопки или поиски ценностей без согласия собственника имущества, где клад был сокрыт, вознаграждение этому лицу не выплачивается и полностью поступает собственнику.

3. Правила настоящей статьи не применяются к лицам, в круг трудовых или служебных обязанностей которых входило проведение раскопок и поиска, направленных на обнаружение клада.

Здесь вроде бы все понятно. Главное не ссориться с собственником земли, на которой вы ищете, а лучше с ним вообще не встречаться.

Но это еще не все. В процессе поисков вы нарушаете неприкосновенность почвы, в которой лежат находки, а оказывается это разрешено далеко не везде. Категорически

запрещено портить подобным образом памятники истории и культуры. Что же под ними понимается?

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН

Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации (проект)

Статья 3. Объекты культурного наследия (памятники истории и культуры) народов Российской Федерации

*1. К объектам культурного наследия (**памятникам истории и культуры**) народов Российской Федерации относятся:*

единичные памятники:....... структуры археологического характера, в том числе частично или полностью скрытые в земле или под водой,...... которые имеют ценность с точки зрения истории, искусства или науки;

ансамбли: .... единство или связь с пейзажем которых представляют ценность с археологической, ... точки зрения, в том числе археологические или палеонтологические объекты; исторические центры поселений, фрагменты исторических планировок и застроек поселений.

достопримечательные места: ....культурные слои, остатки построек древних городов, городищ, селищ, стоянок, жилищ, объектов фортификационного назначения, религиозного назначения - храмов, церквей, монастырей, культовых комплексов; святые места и места совершения обрядов.

исторические поселения: города и населенные места, облик которых (планировка, силуэт застройки, памятники, связь с ландшафтом и другие характеристики) представляют собой ценность в археологической,

архитектурной, исторической, эстетической или социально-культурной точек зрения.

Вот здесь кроется гораздо большая неприятность для кладоискателя, чем в вопросе дележа клада с собственником земли. Ведь большинство кладов, особенно старинных, как раз и располагаются в культурном слое исторических памятников. И если случиться быть пойманным на городище, имеющем статус памятника истории, можно на деле познакомиться с уголовным законодательством, а не хотелось бы.

УГОЛОВНЫЙ КОДЕКС РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Принят: Государственной Думой 24 мая 1996 года. Одобрен Советом Федерации 5 июня 1996 года.

Статья 243. *Уничтожение или повреждение памятников истории и культуры*

1. Уничтожение или повреждение ***памятников истории, культуры****, природных комплексов или объектов, взятых под охрану государства, а также предметов или документов, имеющих историческую или культурную ценность, - наказываются штрафом в размере от двухсот до пятисот минимальных размеров оплаты труда или в размере заработной платы или иного дохода осужденного за период от двух до пяти месяцев либо лишением свободы на срок до двух лет.*

2. Те же деяния, совершенные в отношении особо ценных объектов или памятников общероссийского значения, - наказываются штрафом в размере от семисот до одной тысячи минимальных размеров оплаты труда или в разме-

ре заработной платы или иного дохода осужденного за период от семи месяцев до одного года либо лишением свободы на срок до пяти лет.

Таким образом, нам остаются: пляжи, места боев последней войны, старые грунтовые дороги и те места былых поселений, которые вам удалось найти раньше археологов и которые не имеют статуса исторического памятника. Здесь можно искать безбоязненно.

Но есть и другой путь заниматься любимым поиском исторических реликвий не в ущерб, а во благо. Для этого нужно прийти в ближайший исторический (краеведческий) музей и, познакомившись с местными археологами, предложить им свои услуги. Подобная помощь добровольцев, да еще со своим прибором только приветствуется. Работая в тесном контакте с людьми науки, вы перестанете ощущать себя разрушителем исторических памятников и сможете обогатить науку новыми интересными находками.

3. ТИПЫ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ

3.1 Металлоискатель по принципу "передача-прием"

Термины "передача-прием" и "отраженный сигнал" в различных поисковых приборах обычно ассоциируются с методами типа импульсной эхо- и радиолокации, что является источником заблуждений, когда речь заходит о металлоискателях. В отличие от различного рода локаторов, в металлоискателях рассматриваемого типа как передаваемый сигнал (излучаемый), так и принимаемый сигнал (отраженный) являются непрерывными, они существуют одновременно и совпадают по частоте.

Принцип действия

Принцип действия металлоискателей типа "передача-прием" заключается в регистрации сигнала, отраженного (или, как говорят, переизлученного) металлическим предметом (мишенью), см.[32], стр.225-228. Отраженный сигнал возникает вследствие воздействия на мишень переменного магнитного поля передающей (излучающей) катушки металлоискателя. Таким образом, прибор данного типа подразумевает наличие как минимум двух катушек, одна из которых является передающей, а другая приемной.

Основная принципиальная проблема, которая решается в металлоискателях данного типа, заключается в таком выборе взаимного расположения катушек, при котором магнитное поле излучающей катушки в отсутствие посторонних металлических предметов наводит нулевой сигнал в

приемной катушке (или в системе приемных катушек). Таким образом, необходимо предотвратить непосредственное воздействие излучающей катушки на приемную. Появление же вблизи катушек металлической мишени приведет к появлению сигнала в виде переменной э.д.с. в приемной катушке.

Схемы датчиков

Поначалу может показаться, что в природе существует всего два варианта взаимного расположения катушек, при котором не происходит непосредственной передачи сигнала из одной катушки в другую (см. рис.1а и 1б) - катушки с перпендикулярными и со скрещивающимися осями.

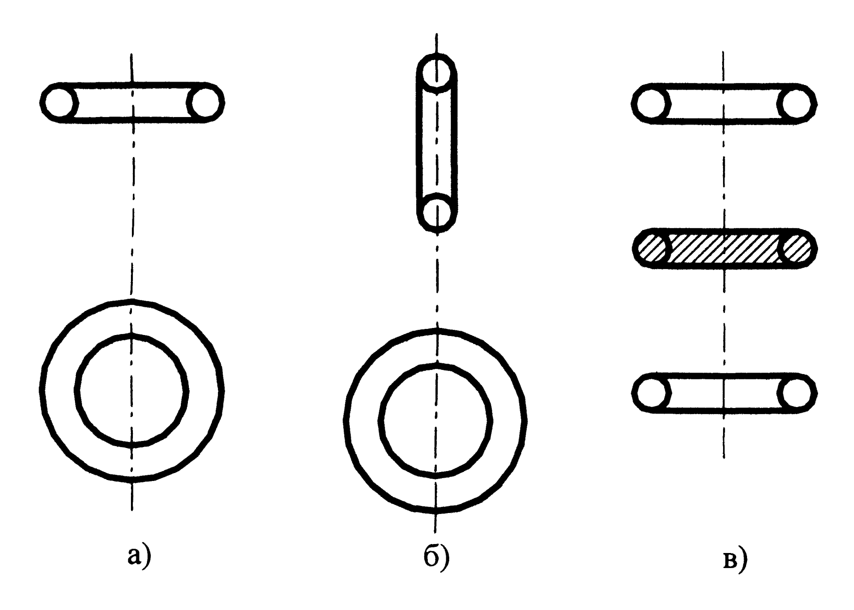


Рис 1 Варианты взаимного расположения катушек датчика металлоискателя по принципу "передача-прием"

Более тщательное изучение проблемы показывает, что подобных различных систем датчиков металлоискателей может быть сколь угодно много, однако они будут содержать более сложные системы с количеством катушек больше двух, соответствующим образом включенных электрически. Например, на рис.1в изображена система из одной излучающей (в центре) и двух приемных катушек, включенных встречно по сигналу, наводимому излучающей катушкой. Таким образом, сигнал на выходе системы приемных катушек в идеале равен нулю, так как наводимые в катушках э.д.с. взаимно компенсируются.

Особый интерес представляют системы датчиков с компланарными катушками (т.е. расположенными в одной плоскости). Это объясняется тем, что с помощью металлоискателей обычно проводят поиск предметов, находящихся в земле, а приблизить датчик на минимальное расстояние к поверхности земли возможно только в том случае, если его катушки компланарны. Кроме того такие датчики обычно компактны и хорошо вписываются в защитные корпуса типа “блина” или “летающей тарелки”.

Основные варианты взаимного расположения компланарных катушек приведены на рис.2а и 2б. В схеме на рис.2а взаимное расположение катушек выбрано таким, чтобы суммарный поток вектора магнитной индукции через поверхность, ограниченную приемной катушкой, равнялся нулю. В схеме рис.2б одна из катушек (приемная) скручена в виде “восьмерки”, так что суммарная э.д.с., наводимая на половинки витков приемной катушки, расположенные в одном крыле “восьмерки”, компенсирует аналогичную суммарную э.д.с., наводимую в другом крыле “восьмерки”.

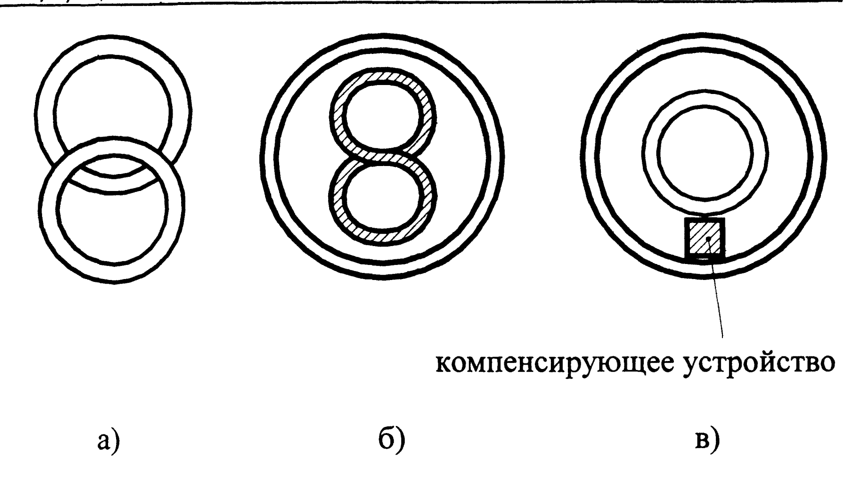


Рис. 2. Компланарные варианты взаимного расположения катушек металлоискателя по принципу "передача-прием".

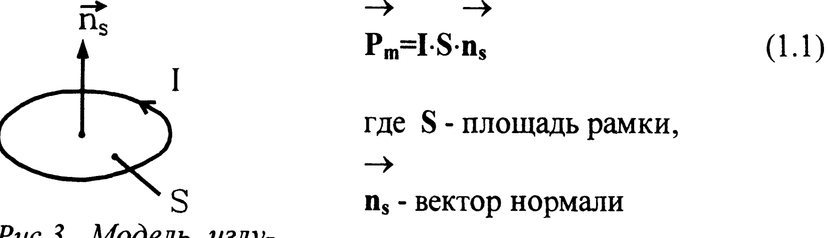
Возможны и другие разнообразные конструкции датчиков с компланарными катушками, например рис.2в. Приемная катушка расположена внутри излучающей. Наводимая в приемной катушке э.д.с. компенсируется специальным трансформаторным устройством, отбирающим часть сигнала излучающей катушки.

Теоретические соображения

Система катушек с перпендикулярными осями

Рассмотрим более подробно взаимодействие датчика металлоискателя с металлической мишенью на примере системы катушек с ***перпендикулярными осями***, рис.1а. Для простоты рассмотрим систему с катушками, продольными размерами которых можно пренебречь. Будем в дальнейшем счи-

тать, что излучающая и приемная катушки представляют собой круглые бесконечно тонкие рамки (см. рис.3). Для такой рамки вектор магнитного момента при протекании тока **I** имеет вид:



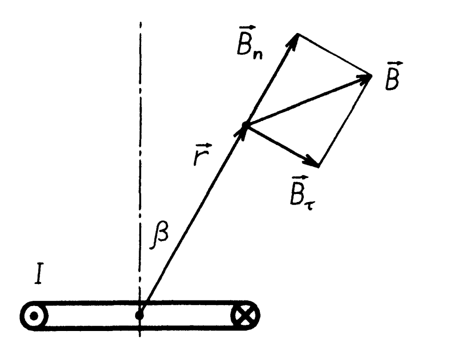
$$\vec{P}_m = I \cdot S \cdot \vec{n}_s \qquad (1.1)$$

где **S** - площадь рамки,

$\vec{n}_S$ - вектор нормали

Рис.3. Модель излучающей катушки.

Индукция магнитного поля, создаваемого такой рамкой на большом расстоянии **r** от ее центра (см. рис.4), составляет:



$$\begin{cases} B_n = (\mu_o/(2\pi)) \cdot (P_m/r^3) \cdot \cos\beta \\ B_\tau = (\mu_o/(2\pi)) \cdot (P_m/r^3) \cdot \sin\beta \\ B = (\mu_o/(2\pi)) \cdot (P_m/r^3), \end{cases} \qquad (1.2)$$

Рис. 4. Компоненты вектора индукции магнитного поля излучающей катушки.

полагая ,что $r \gg \sqrt{S}$, а индексы “**n**” и “τ” обозначают соответственно нормальную и тангенциальную составляющие вектора магнитной индукции.

Рассмотрим взаимодействие излучающей рамки, приемной рамки и объекта в случае катушек с перпендикулярными осями (см. рис.5).

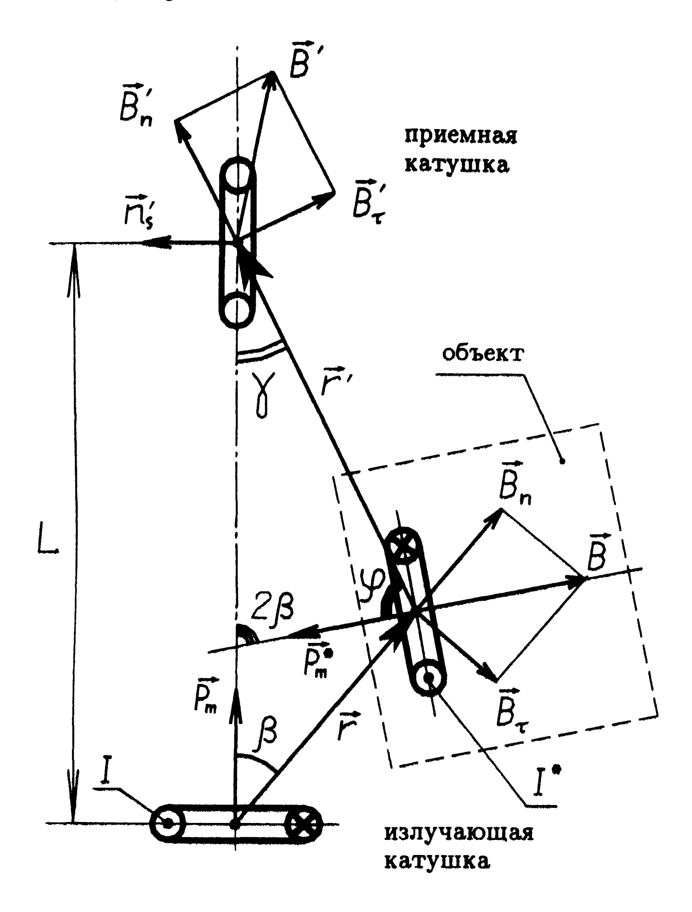


Рис. 5. Взаимное расположение катушек датчика металлоискателя и объекта (мишени).

Угол между осью симметрии системы катушек и вектором индукции поля **B** излучающей катушки равен **2β**, так как силовые линии вследствие соотношений (1.2) являются окружностями, и ввиду допущения о малых размерах катушек:

$$\begin{cases} r \gg \sqrt{S} \\ L \gg \sqrt{S} \end{cases} \qquad (1.3)$$

где **L** - так называемая база датчика металлоискателя (см. рис.5).

Отражение сигнала за счет проводимости объекта

Проводящий металлический объект, размеры которого пока будем также считать небольшими, по крайней мере, не превосходящими **r** и **r'** (см. рис.5), с точки зрения переизлучения магнитного поля, можно представить в виде эквивалентной рамки с током I^*, вектор магнитного момента которой $\mathbf{P_m}^*$ практически параллелен вектору индукции излучающей катушки **B**.

Величина $\mathbf{P_m}^*$ зависит от размеров проводящего объекта, его проводимости, от индукции поля в точке расположения объекта, от частоты излучаемого поля. Индукция поля переизлучения имеет в центре приемной катушки ненулевую составляющую $\mathbf{B_0}$ в направлении вектора нормали $\mathbf{n_s}'$, что приводит к появлению в этой катушке э.д.с., пропорциональной указанной составляющей:

$$U_0 \sim \mathbf{B_0}, \qquad (1.4)$$

где $$\mathbf{B_0 = B_n' \cdot \sin\gamma - B_\tau' \cdot \cos\gamma},$$

где $$\begin{cases} \mathbf{B_n' = (\mu_0/(2\pi)) \cdot (P_m^*/r'^3) \cdot \cos\varphi} \\ \mathbf{B_\tau' = (\mu_0/(2\pi)) \cdot (P_m^*/r'^3) \cdot \sin\varphi}. \end{cases}$$

Отсюда $$\mathbf{B_0 = (\mu_0/(2\pi)) \cdot (P_m^*/r'^3) \cdot \sin[2 \cdot (\gamma+\beta)]}. \qquad (1.5)$$

Для того, чтобы вычислить магнитный момент эквивалентной рамки $\mathbf{P_m^*}$, необходимо взять интеграл по всему объему проводящего объекта так, чтобы просуммировать вклады всех элементарных кольцевых токов, наведенных полем излучающей катушки, в итоговую величину $\mathbf{P_m^*}$. Для простоты будем считать, что магнитное поле по всему объему проводящего объекта однородно, то есть он удален на значительное расстояние от излучающей катушки. Чтобы не возникало проблем с ориентацией объекта, будем пока считать, что он имеет форму однородного шара (см. рис.6). Считая, что проводящий объект удален на значительное расстояние и от приемной катушки, можно записать:

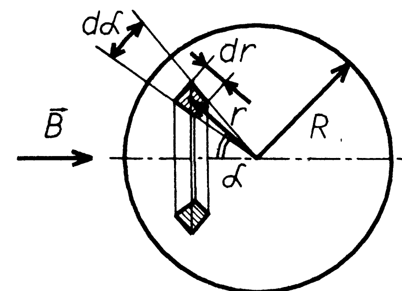


Рис. 6. К расчету магнитного момента эквивалентного шара.

$$\mathbf{P_m^* = \int_V d\,P_m^*}. \qquad (1.6)$$

Пренебрегая явлением самоиндукции, влияние которого будет рассмотрено ниже, получаем:

$$\mathbf{P_m^* = (2\pi/15) \cdot p \cdot (BR^5/\rho)}, \qquad (1.7)$$

где: **B** - индукция магнитного поля,

p - оператор Лапласа,

ρ - удельное сопротивление материала объекта,

R - радиус шара.

Получаем:

$$\mathbf{P_m^* = K_1 \cdot B},$$

где $$\mathbf{K_1 = (2\pi/15) \cdot p \cdot (R^5/\rho)}. \qquad (1.8)$$

Чтобы учесть явление самоиндукции, предположим для простоты, что переизлученное поле однородно **внутри** объекта-мишени и, исходя из величины магнитного момента (1.7), составляет:

$$\mathbf{B'_{внутр} \approx P_m^* \mu_o/(2\pi R^3)}.$$

Подставив в выражение (1.7) $\mathbf{B - B'_{внутр}}$ вместо **B**, получим по-прежнему пропорциональную зависимость $\mathbf{P_m^*}$ от **B**, но с несколько иным коэффициентом $\mathbf{K_1}$:

$$\mathbf{K_1 = \frac{(2\pi/15) \cdot p \cdot (R^5/\rho)}{1 + p \cdot \mu_o R^2/(15\rho)}}. \qquad (1.9)$$

Составляющая индукции в центре приемной катушки:

$$B_0 = (\mu_0/(2\pi))^2 \cdot (P_m K_1/(r^3 r'^3)) \cdot \sin[2 \cdot (\gamma+\beta)] \,. \quad (1.10)$$

Обозначим: $K_2 = (\mu_0/(2\pi))^2 \cdot P_m K_1 \,.$ (1.11)

Получим: $B_0 = (K_2/(r^3 r'^3)) \cdot \sin[2 \cdot (\gamma+\beta)] \,.$ (1.12)

В системе декартовых координат с началом в середине базы системы катушек (см. рис.7) последнее выражение принимает вид:

$$B_0 = \frac{2 \cdot K_2 x L \cdot (L^2/4 - y^2 - x^2)}{[((L/2 + y)^2 + x^2) \cdot ((L/2 - y)^2 + x^2)]^{5/2}}, \quad (1.13)$$

Введем нормированные координаты:

$$\begin{cases} X = x/(L/2) \\ Y = y/(L/2) \,. \end{cases} \quad (1.14)$$

Тогда $$B_0 = K_3 \cdot \frac{X \cdot (1 - Y^2 - X^2)}{[((1 + Y)^2 + X^2) \cdot ((1 - Y)^2 + X^2)]^{5/2}} \,. \quad (1.15)$$

или $B_0 = K_3 \cdot F(X,Y),$

где $K_3 = (4 K_2)/(L/2)^6 \,.$ (1.16)

Определим с точностью до знака э.д.с., наводимую в приемной катушке:

$$U_0 = pB_0S_0N\ , \qquad (1.17)$$

где S_0 - площадь сечения приемной катушки,
N - количество ее витков.

Отсюда: $U_0 = K_4 \cdot F(X,Y)\ ,$ (1.18)

где $K_4 = K_3S_0Np = K_1 \cdot (\mu_0^2/\pi^2) \cdot p \cdot ISS_0N/(L/2)^6,$ (1.19)

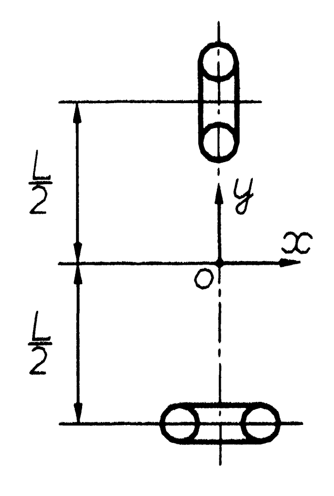


Рис. 7. Система координат.

где

S - площадь сечения излучающей катушки,
I - суммарный ток всех ее витков.

В трехмерном пространстве, когда плоскость XOY не перпендикулярна плоскости приемной рамки,

$$B_0 = K_3 \cdot F(X,Y) \cdot \cos\psi\ ,$$

$$U_0 = K_4 \cdot F(X,Y) \cdot \cos\psi, \qquad (1.20)$$

где ψ - угол крена, (см. рис.8).

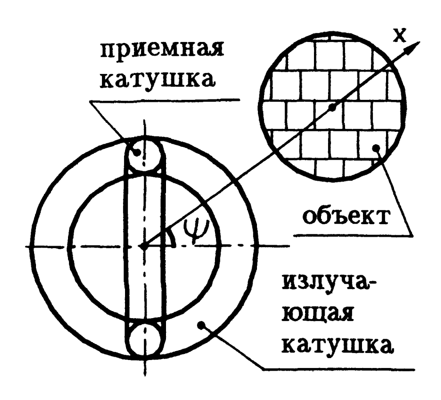


Рис.8. Ориентация объекта по крену.

Отражение сигнала за счет ферромагнитных свойств объекта

Ферромагнитный объект, размеры которого будем считать также небольшими, по крайней мере, не превосходящими **r** и **r'** (см. рис.5), с точки зрения искривления магнитного поля, можно представить в виде эквивалентной рамки с током $\mathbf{I}^*$, вектор магнитного момента которой $\mathbf{P_m}^*$ практически параллелен вектору индукции излучающей катушки **B**.

Величина $\mathbf{P_m}^*$ зависит от размеров ферромагнитного объекта, его магнитной проницаемости, от индукции поля в точке расположения объекта. Для того, чтобы вычислить магнитный момент эквивалентной рамки $\mathbf{P_m}^*$, необходимо взять интеграл по всему объему ферромагнитного объекта так, чтобы просуммировать вклады всех амперовых токов, возникающих в ферромагнетике под действием внешнего

поля излучающей катушки. Для шарового однородного объекта получим:

$$P_m^{\ *} = -\frac{4\pi(\mu-1)}{3\mu\mu_o}\cdot BR^3, \qquad (1.21)$$

где **B** - индукция магнитного поля,
μ - магнитная проницаемость материала объекта,
R - радиус объекта - шара.

Все выражения, полученные выше для проводящего объекта, останутся в силе, если в них для данного случая положить:

$$K_1 = -\frac{4\pi(\mu-1)}{3\mu\mu_o}\cdot R^3. \qquad (1.22)$$

Суперпозиция проводящих и ферромагнитных свойств объекта

Учет одновременно электропроводных и ферромагнитных свойств объекта в виде шара приводит к следующему значению коэффициента K_1:

$$K_1 = (2\pi/3)\cdot R^3\cdot K_\Sigma,$$

где

$$K_\Sigma = \frac{p\cdot R^2/(5\rho)}{1 + p\cdot\mu_o R^2/(15\rho)} - \frac{2(\mu-1)}{\mu\mu_o}. \qquad (1.23)$$

Нормирующий коэффициент K_4, входящий в выражение для напряжения в приемной катушке, составляет:

$$K_4 = (2\mu_0^2/(3\pi\cdot(L/2)^6))\cdot R^3 I S S_0 N\cdot p\cdot K_\Sigma . \qquad (1.24)$$

Численная оценка (1.23) показывает, например, что модули слагаемых в выражении при типовой частоте излучаемого поля 10(кГц) становятся соизмеримы при радиусе шарового объекта порядка 1(см) и при условии наличия у объекта ферромагнитных свойств. Кроме того, зависимость первого слагаемого от оператора Лапласа говорит о том, что фаза отраженного сигнала будет изменяться в зависимости от соотношения у объекта - мишени электропроводных и ферромагнитных свойств, а также от проводимости материала и размеров объекта. На этом явлении основан принцип действия ***дискриминаторов*** современных металлоискателей, то есть электронных устройств, позволяющих по фазовому сдвигу отраженного от объекта сигнала оценить свойства объекта (с определенной вероятностью даже тип металла).

Учет формы объекта

Полученные ранее выражения, как указывалось, были справедливы только для формы объекта - мишени в виде однородного шара. Очевидно, что воздействие объектов более сложной формы можно свести к воздействию некоторого эквивалентного шара с радиусом $R_{экв}$.

Наведенное в приемной катушке напряжение, обусловленное проявлением только ферромагнитных свойств, для шарового объекта пропорционально его объему (см. выражение (1.22)). Поэтому, для не слишком протяженных объектов более сложной формы, в первом приближении,

можно считать эквивалентным такой шар, объем которого совпадает с объемом ферромагнетика у объекта сложной формы. Для этого случая:

$$R_{экв} = (3V/(4\pi))^{1/3}, \qquad (1.25)$$

где V - объем ферромагнетика.

С напряжением, наведенным в приемной катушке за счет переизлучения от проводящего объекта, ситуация более сложная. В случае **больших объектов с хорошей электропроводностью** выражение (1.9) и соответственно наведенное в приемной катушке напряжение также пропорционально объему объекта (то есть R^3) и радиус эквивалентного шара также вычисляется по формуле (1.25). В случае **небольших объектов с плохой электропроводностью** подход иной. В этом случае общее выражение (1.9) вырождается в частный случай (1.8). Рассмотрим вначале влияние шаровой полости с радиусом $R_п$ внутри шарового объекта на $R_{экв}$. Воспользовавшись принципом суперпозиции, представим результат воздействия шарового объекта с полостью как разность результатов воздействия сплошного шара и шара с радиусом $R_п$. В соответствии с (1.8), имеет место соотношение:

$$R^5_{экв} = R^5 - R^5_п. \qquad (1.26)$$

при $\Delta R = R - R_п << R$ справедливо приближенное соотношение:

$$R_{экв} \approx R \cdot (5 \cdot \Delta R/R)^{1/5}. \qquad (1.27)$$

На рис.9 приведены графики зависимости **R/R**$_{экв}$ от **R/ΔR** для полого слабоэлектропроводного и для полого ферромагнитного шара. Из графика видно, что для не слиш-

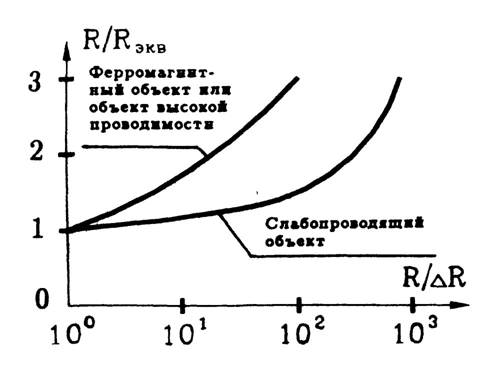


Рис.9. Влияние толщины стенки полого шара на эквивалентный радиус.

ком тонкостенных шаров из слабопроводящего материала **R**$_{экв}$ ≈ **R.** Следовательно, в отличие от ферромагнитного шара и от шара высокой проводимости, для слабопроводящего шара, в первом приближении, безразлично - сплошной он или полый. Его влияние на процесс переизлучения определяется, в основном, линейным размером, то есть **R.** Поэтому, в случае не слишком протяженных плохопроводящих объектов более сложной формы, в том числе и полой, в первом приближении, можно считать эквивалентным такой шар, радиус **R**$_{экв}$ которого равен половине среднего характерного размера объекта.

Приведенный выше вывод хорошо подтверждается на практике в виде существенного отклика металлоискателя от ничтожных по массе обрывков металлической алюминиевой фольги, которая практически попадается везде, где оставила свой след современная цивилизация.

Система катушек со скрещенными осями

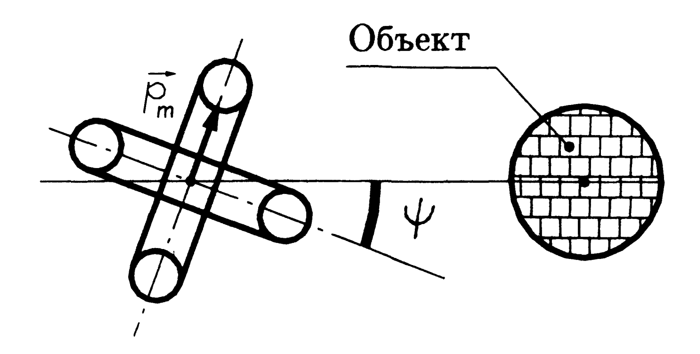


Рис.10. Ориентация датчика по крену.

Вид вдоль оси датчика металлоискателя при таком расположении катушек приведен на рис.10. Для расчета такой схемы удобно воспользоваться принципом суперпозиции и разложить вектор магнитного момента излучающей катушки и площадь приемной катушки на вертикальную и горизонтальную составляющие (проекции, см. рис.11).

Для горизонтальной составляющей, проекция индукции поля в приемной катушке $\boldsymbol{B_{он}}$ будет по-прежнему определяться соотношением (1.4). Однако, иная ориентация магнитного момента дает (с точностью до знака) результат:

$$\mathbf{B_{он}} = (\,\mathbf{K_2/(r^3 r'^3)})\cdot\mathbf{sin}\psi\cdot\mathbf{cos}[\mathbf{2}\cdot(\gamma+\beta)]\,, \qquad (1.28)$$

где $\mathbf{K_2}$ определяется по формуле (1.11).

Вертикальная составляющая индукции поля в приемной катушке $\mathbf{B}_{0v}$ перпендикулярна векторам **r** и **r'** и не зависит в явном виде от углов γ и β:

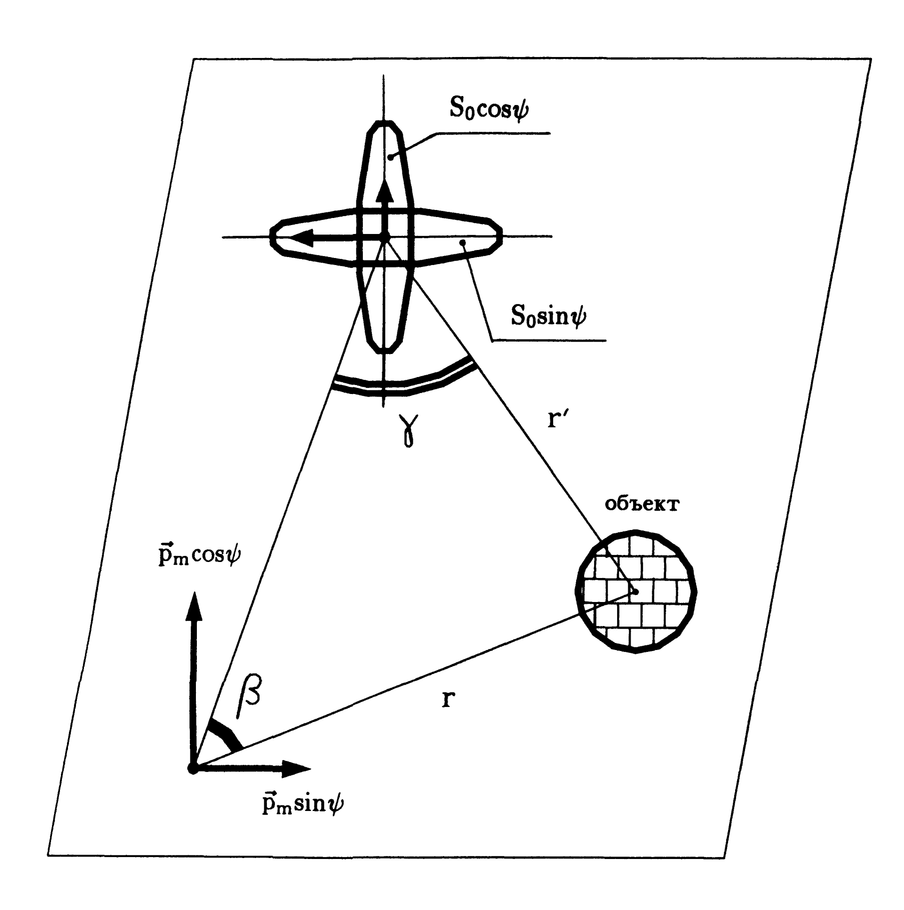


Рис.11. Разложение магнитного момента и площади приемной катушки на составляющие.

$$\mathbf{B_{ov} = (K_2/(r^3r'^3))\cdot cos\psi} . \qquad (1.29)$$

ЭДС в приемной катушке U_0 , с точностью до знака, составляет:

$$\mathbf{U_0 = pN(S_0 sin\psi\cdot B_{ov} + S_0 cos\psi\cdot B_{он})} . \qquad (1.30)$$

Отсюда получаем:

$$\mathbf{U_0 = (K_2/(r^3r'^3))\cdot pNS_0 sin(2\psi)\cdot cos^2(\gamma+\beta)} . \qquad (1.31)$$

В декартовой системе координат с началом в середине базы системы катушек (см. рис.5) получим:

$$\mathbf{U_0 = \frac{K_2\cdot pNS_0\cdot sin(2\psi)\cdot (L^2/4 - y^2 - x^2)^2}{[((L/2 + y)^2 + x^2)\cdot ((L/2 - y)^2 + x^2)]^{5/2}}} , \qquad (1.32)$$

Введя нормированные координаты (1.14), получим:

$$\mathbf{U_0 = K_4\cdot \frac{(1 - Y^2 - X^2)^2 \cdot sin(2\psi)}{4\cdot[((1 + Y)^2 + X^2)\cdot((1 - Y)^2 + X^2)]^{5/2}}} =$$

$$\mathbf{= K_4\cdot G(X,Y)\cdot sin(2\psi)}, \qquad (1.33)$$

где $\mathbf{K_4}$ вычисляется по формуле (1.19) или (1.24).

Практические соображения

Чувствительность металлоискателя зависит, в первую очередь от его датчика. Для рассмотренных вариантов датчиков чувствительность определяется формулами (1.20) и (1.33). При оптимальной для каждого случая ориентации ориентации датчика на объект по углу крена ψ, она определяется одним и тем же коэффициентом $\mathbf{K_4}$ и функциями нормированных координат **F(X,Y)** и **G(X,Y)**. Для сравнения, в квадрате $\mathbf{X\in[-4,4]}$, $\mathbf{Y\in[-4,4]}$, модули этих функций приведены в виде аксонометрического набора сечений в логарифмическом масштабе на рис.12 и рис.13.

Первое, что бросается в глаза - это ярко выраженные максимумы вблизи точек расположения катушек датчика (0,+1) и (0,-1). Максимумы функций **F(X,Y)** и **G(X,Y)** не представляют практического интереса и для удобства сравнения функций обрезаны по уровню 0(дБ). Из рисунков и из анализа функций **F(X,Y)** и **G(X,Y)** также видно, что в указанном квадрате модуль функции **F** практически везде немного превосходит модуль функции **G**, за исключением самых удаленных точек по углам квадрата и за исключением узкой области вблизи **X=0**, где у функции **F** имеет место **“овраг”**.

Асимптотическое поведение указанных функций вдали от начала координат можно проиллюстрировать при **Y=0**. Оказывается, что модуль функции **F** убывает с расстоянием пропорционально $\mathbf{x}^{-7}$, а модуль функции **G** - пропорционально $\mathbf{x}^{-6}$. К сожалению, преимущество функции **G** по чувствительности проявляется лишь на больших расстояниях, превышающих практический радиус действия

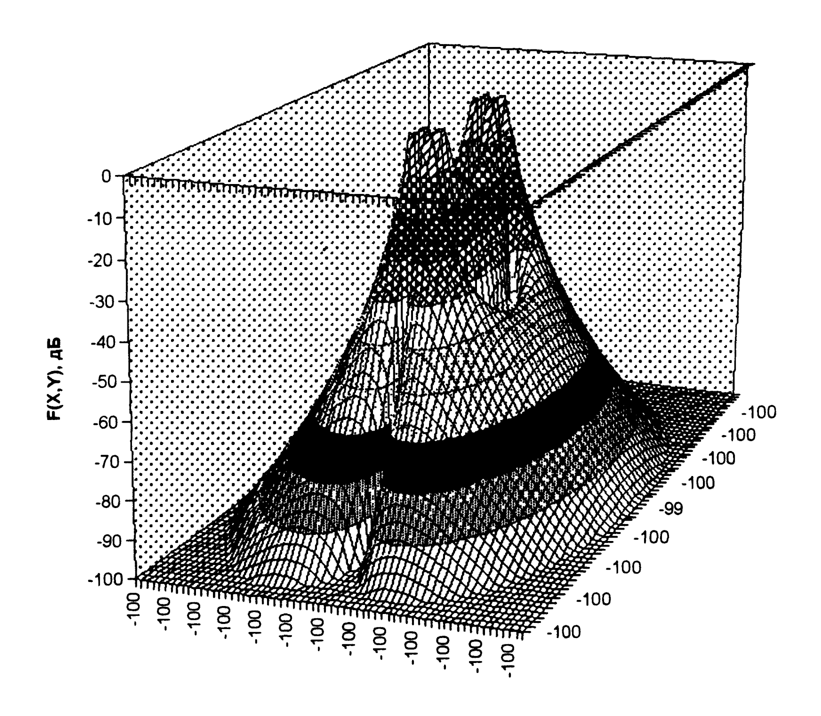


Рис.12. График функции F(X,Y).

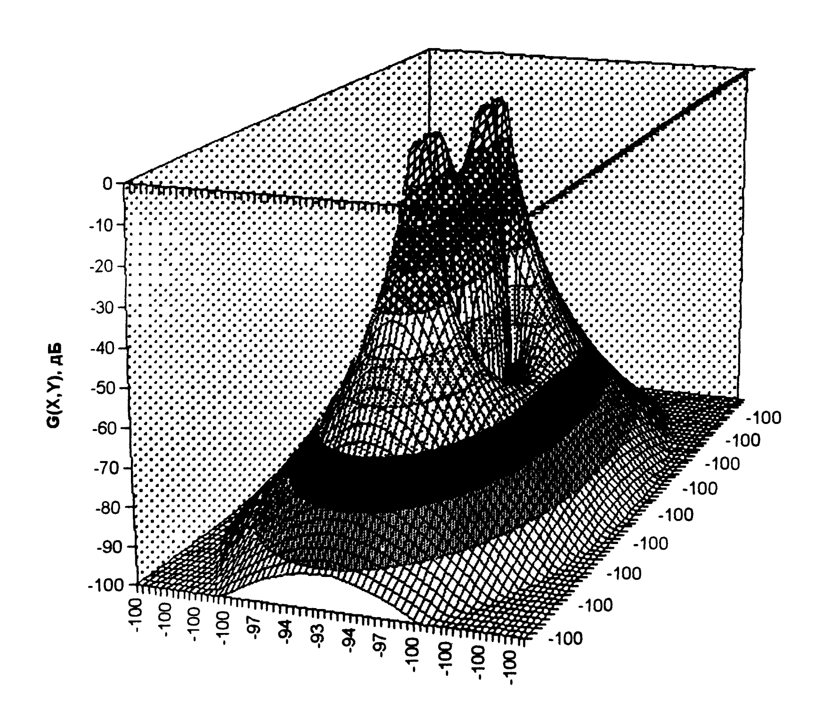


Рис. 13. График функции G(X,Y).

металлоискателя. Одинаковые значения модулей **F** и **G** получаются при **X≈4,25.**

Очень важное практическое значение имеет "овраг" функции **F**. ***Во-первых***, он свидетельствует о том, что датчик системы катушек с перпендикулярными осями имеет минимальную (теоретически нулевую) чувствительность к металлическим предметам, расположенным на его продольной оси. Естественно, к этим предметам относятся и многие элементы конструкции самого датчика. Следовательно, отраженный от них бесполезный сигнал будет намного меньше, чем у датчика системы катушек со скрещивающимися осями. Последнее очень важно, учитывая, что отраженный сигнал от металлических элементов самого датчика может на несколько порядков превосходить полезный сигнал (ввиду близости этих элементов к катушкам датчика). Дело не в том, что бесполезный сигнал от металлических элементов конструкции датчика трудно скомпенсировать. Основная сложность заключается в малейших изменениях этих сигналов, которые обычно вызываются тепловыми и особенно механическими деформациями указанных элементов. Эти малейшие изменения могут быть уже сопоставимы с полезным сигналом, что приведет к неверным показаниям или ложным срабатываниям прибора. ***Во-вторых***, если с помощью металлоискателя системы катушек с перпендикулярными осями некоторый небольшой объект уже обнаружен, то направление его точного местонахождения может быть легко "запеленговано" по нулевому значению сигнала металлоискателя при точной ориентации его продольной оси на объект (при любых ориентациях по крену). Учитывая, что площадь "захвата" датчика при поиске может составлять несколько квадратных метров, последнее качество сис-

темы катушек с перпендикулярными осями весьма полезно на практике (меньше бесполезных раскопок).

Следующая особенность графиков функций **F(X,Y)** и **G(X,Y)** - наличие кольцеобразного “кратера” нулевой чувствительности, проходящего через центры катушек (окружность $X^2+Y^2=1$). На практике эта особенность позволяет определять расстояние до небольших объектов. Если обнаружится, что на некотором конечном расстоянии отраженный сигнал зануляется (при оптимальной ориентации по крену) - значит, расстояние до объекта составляет половину базы прибора, то есть величину **L/2.**

Необходимо также отметить, что **диаграммы направленности** по углу крена ψ для датчиков металлоискателей с различным взаимным расположением катушек также различаются. На рис.14б приведена диаграмма направленности прибора с перпендикулярными осями у катушек, а на рис.14а - со скрещивающимися. Очевидно, что вторая диаграмма более предпочтительна, так имеет меньшее количество зон нечувствительности по крену и меньшее количество лепестков.

Для того, чтобы оценить зависимость наведенного в приемной катушке напряжения от параметров металлоискателя и объекта, надо проанализировать выражение (1.19) для коэффициента K_4. Наведенное в приемной катушке напряжение пропорционально $(L/2)^6$. На величину **L/2** нормируются и аргументы функций **F** и **G**, убывание которых происходит с 6-й - 7-й степенью расстояния. Поэтому, в первом приближении, при прочих равных условиях, **чувствительность металлоискателя не зависит от его базы.**

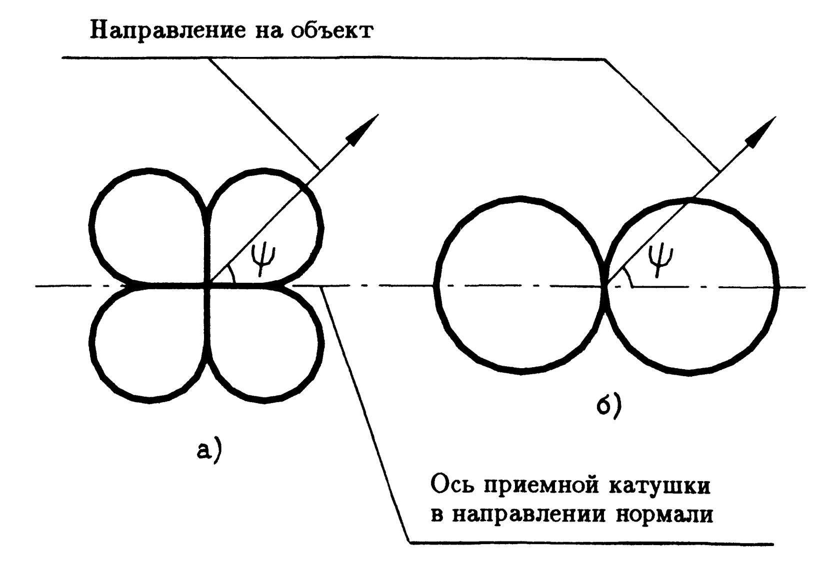


Рис.14. Диаграммы направленности по крену датчиков систем катушек:
- со скрещивающимися осями (а)
- с перпендикулярными осями (б).

Однако, в некоторых случаях конструкция датчика с большей базой может оказаться более предпочтительной, так как в этом случае меньшим будет неизбежное паразитное проникновение сигнала непосредственно из излучающей катушки в приемную.

Для того, чтобы проанализировать **селективность** металлоискателя, то есть его способность различать объекты, изготовленные из различных металлов или сплавов, необходимо обратиться к выражению (1.23). Металлоискатель может различать объекты по фазе отраженного сигнала. Для того, чтобы разрешающая способность прибора по типу ме-

таллов была максимальной, необходимо соответствующим образом выбрать частоту сигнала излучающей катушки, так, чтобы фаза отраженного от объектов сигнала составляла около 45^o . Это - середина диапазона возможных изменений фазы первого слагаемого выражения (1.23), и там крутизна фазочастотной характеристики максимальна. Второе слагаемое выражения (1.23) считаем нулевым, так как при поиске в первую очередь нас интересует селективность по цветным металлам - неферромагнетикам. Естественно, оптимальный выбор частоты сигнала подразумевает знание типового размера предполагаемых объектов. Практически во всех зарубежных промышленных металлоискателях в качестве такого размера заложен размер монеты. Оптимальная частота составляет:

$$\mathbf{f} = \frac{15\rho}{2\pi\mu_o\mathbf{R}^2}. \tag{1.34}$$

При типовом диаметре монеты 25(мм) ее объем составляет около 10^{-6}(м^3), что по формуле (1.25) соответствует эквивалентному радиусу около 0,6(см). Отсюда получаем оптимальное значение частоты около 1(кГц) при проводимости материала монеты 20(нОм·м). В промышленных приборах частота обычно на порядок выше (по технологическим соображениям).

Выводы

1. **По мнению автора, система катушек с перпендикулярными осями предпочтительнее для поиска кладов и реликвий, чем система катушек со скрещивающимися осями. При прочих равных условиях, первая система имеет немного более высокую чувствительность. Кроме того, с ее помощью гораздо проще определить ("запеленговать") точное направление, в котором следует искать обнаруженный объект.**

2. **Рассмотренные системы катушек имеют важное свойство, позволяющее оценивать расстояние до небольших объектов по занулению отраженного сигнала при расстоянии до объекта, равном половине базы.**

3. **При прочих равных условиях (размеры и число витков катушек, чувствительность приемного тракта, величина тока и его частота в излучающей катушке), чувствительность металлоискателя по принципу "передача-прием" практически не зависит от его базы, то есть от расстояния между катушками.**

3.2 Металлоискатель на биениях

Термин "металлоискатель на биениях" является отголоском терминологии, принятой в радиотехнике еще со времен первых супергетеродинных приемников. Биениями называется явление, наиболее заметно проявляющееся при сложении двух периодических сигналов с близкими частотами и приблизительно одинаковыми амплитудами и заключающееся в пульсации амплитуды суммарного сигнала. Частота пульсации равна разности частот двух складываемых сигналов. Пропустив такой пульсирующий сигнал через выпрямитель (детектор), можно выделить сигнал разностной частоты. Такая схемотехника долгое время была традиционной, однако в настоящее время, ввиду развития синхронных детекторов, обычно не используется ни в радиотехнике, ни в металлоискателях, хотя термин "на биениях" остался до сих пор.

Принцип действия

Принцип действия металлоискателя на биениях очень прост и заключается в регистрации разности частот от двух генераторов - один из которых является стабильным по частоте, а другой содержит датчик - катушку индуктивности в своей частотозадающей цепи. Прибор настраивается таким образом, чтобы в отсутствие металла вблизи датчика частоты двух генераторов совпадали или были очень близки по значению. Наличие металла вблизи датчика приводит к изменению его параметров и как следствие, к изменению частоты соответствующего генератора. Это изменение, как

правило очень мало, однако изменение **разности** частот двух генераторов уже существенно и может быть легко зарегистрировано.

Разность частот может регистрироваться самыми различными путями, начиная от простейшего, когда сигнал разностной частоты прослушивается на головные телефоны или через громкоговоритель, и кончая цифровыми способами измерения частоты.

Теоретические соображения

Рассмотрим подробнее датчик металлоискателя на биениях, состоящий из одной катушки (см. рис.15).

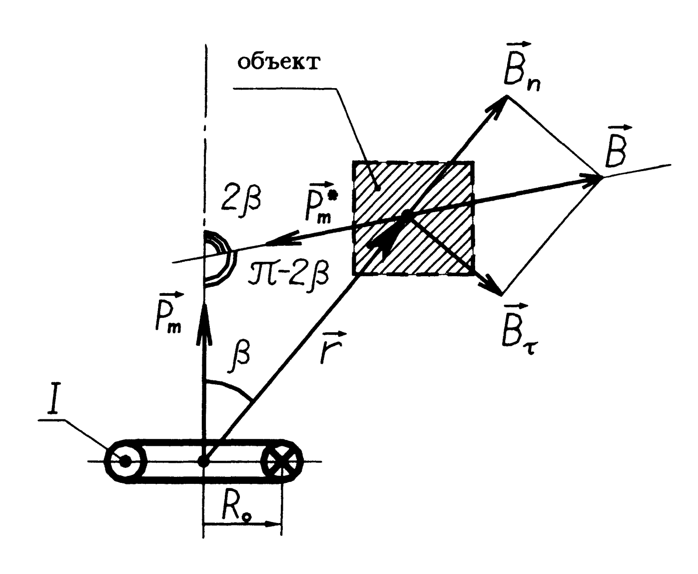


Рис.15. Взаимодействие однокатушечного датчика металлоискателя с объектом.

Индукция магнитного поля в центре катушки составляет:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2R_0} = \frac{\mu_0 P_m}{2R_0 S}, \qquad (1.35)$$

где P_m - магнитный момент, создаваемый током катушки **I**,
R_0 - радиус катушки,
S - площадь катушки.

За счет взаимодействия с проводящим и/или ферромагнитным объектом возникает добавочная компонента индукции. Так как механизм ее появления точно такой же, как и в рассмотренном ранее случае металлоискателя по принципу “передача - прием”, можно воспользоваться результатами предыдущего раздела и записать для добавочной компоненты индукции:

$$B_0 = -\ (\mu_0/(2\pi))^2 \cdot (K_1/r^6) \cdot P_m\,, \qquad (1.36)$$

где K_1 - коэффициент, вычисляемый по формуле (1.8), (1.9) или (1.23).

Так как коэффициент K_1 - функция комплексная, то и относительное изменение индукции можно обозначить как функцию оператора Лапласа:

$$\delta(p) = (B_0/B_1)\,. \qquad (1.37)$$

Таким образом, полное сопротивление катушки датчика металлоискателя (без учета омического сопротивления провода и межвитковой емкости) можно представить как:

$$\mathbf{Z(p)} = \mathbf{pL}(1 + \delta(\mathbf{p})), \quad (1.38)$$

где **L** - индуктивность катушки без влияния объекта.

Под воздействием объекта меняется полное сопротивление катушки. В металлоискателях на биениях это изменение оценивается по изменению резонансной частоты колебательного LC- контура, образованного катушкой датчика и конденсатором.

Практические соображения

Чувствительность металлоискателя на биениях определяется выражениями (1.36)-(1.38) и зависит, кроме того от параметров преобразования изменения полного сопротивления датчика в частоту. Как уже отмечалось, обычно преобразование заключается в получении разностной частоты стабильного генератора и генератора с катушкой датчика в частотозадающей цепи. Поэтому, чем выше будут частоты этих генераторов, тем больше будет разность частот в отклик на появление металлической мишени вблизи датчика. Регистрация небольших отклонений частоты представляет определенную сложность. Так, на слух можно уверенно зарегистрировать уход частоты тонального сигнала не менее 10(Гц). Визуально, по миганию светодиода можно зарегистрировать уход частоты не менее 1(Гц). Другими способами

можно добиться регистации и меньшей разности частот, однако эта регистрация потребует значительного времени, что неприемлемо для металлоискателей, которые всегда работают в реальном масштабе времени.

Способ выделения небольшой по величине разности частот двух генераторов порождает существенную техническую проблему в виде явления захвата фазы. Оно заключается в том, что два генератора, настроенные на очень близкие частоты, имеют тенденцию к паразитной взаимной синхронизации. Эта синхронизация проявляется в том, что при попытке приблизить каким-либо путем разностную частоту двух генераторов к нулю, по достижению разностной частотой некоторого порога, происходит скачкообразный переход к состоянию генераторов, когда их частоты совпадают. Генераторы становятся синхронизированными. Физически, явление захвата фазы объясняется нелинейностями, неизбежно присутствующими в любом генераторе, и паразитным проникновением сигнала одного генератора в другой (по цепям питания, через паразитные емкости и т.д.). Как показывает практика, если не прибегать к специальным ухищрениям типа оптоэлектронной развязки генераторов, то реально получить для разностной частоты порог наступления паразитной синхронизации порядка 10^{-4} относительно частоты генераторов. Отсюда можно получить оценку для частоты, на которой должен работать металлоискатель на биениях, для получения максимальной чувствительности - 10...100 (кГц) и выше.

Селективность по металлам на таких частотах, весьма далеких от оптимальной (1.34), проявляется очень слабо. Кроме того, по сдвигу частоты генератора определить фазу

отраженного сигнала практически невозможно. Поэтому **селективность** у металлоискателя на биениях отсутствует.

Отклик прибора на металлический объект, в соответствии с формулой (1.36), обратно пропорционален шестой степени расстояния. То есть, он практически такой же, как и у металлоискателей по принципу "передача-прием". Однако, **дальность обнаружения** приборов данного типа обычно намного хуже вследствие эффекта паразитной синхронизации.

Положительной для практики стороной является простота конструкции датчика и электронной части металлоискателя на биениях. Такой прибор может быть очень компактным. Им удобно пользоваться, когда что-либо уже обнаружено более чувствительным прибором. Если обнаруженный предмет небольшой и находится достаточно глубоко в земле, то он может "затеряться", переместиться в ходе раскопок. Чтобы по многу раз не "просматривать" громоздким чувствительным металлоискателем место раскопок, желательно на завершающей стадии контролировать их ход компактным прибором малого радиуса действия, которым можно более точно узнать местонахождение предмета.

Выводы

1. **Металлоискатели на биениях имеют меньшую чувствительность, чем металлоискатели по принципу "передача-прием".**

2. **Селективность по типам металлов отсутствует.**

3.3 Однокатушечный металлоискатель индукционного типа

Принцип действия

Слово "индукционный" в названии металлоискателей данного типа полностью раскрывает принцип их работы, если вспомнить смысл слова "inductio" (лат.) - наведение. Прибор данного типа имеет в составе датчика одну катушку любой удобной формы, возбуждаемую переменным сигналом. Появление вблизи датчика металлического предмета вызывает появление отраженного (переизлученного сигнала), который "наводит" в катушке дополнительный сигнал электрический. Остается этот дополнительный сигнал только выделить.

Металлоискатель индукционного типа получил право на жизнь, главным образом, из-за основного недостатка приборов по принципу "передача-прием" - сложности конструкции датчиков. Эта сложность приводит либо к высокой стоимости и трудоемкости изготовления датчика, либо к его недостаточной механической жесткости, что обуславливает появление ложных сигналов при движении и снижает чувствительность прибора. Если задаться целью устранить у приборов по принципу "передача-прием" этот недостаток, то можно придти к необычному выводу - излучающая и приемная катушки у металлоискателя должны быть объединены в одну! В самом деле, весьма нежелательные перемещения и изгибы одной катушки относительно другой в данном случае отсутствуют, так как катушка только одна и она одновременно и излучающая, и приемная. На-

лицо также предельная простота датчика. Платой за эти преимущества является необходимость выделения полезного отраженного сигнала на фоне значительно большего сигнала возбуждения излучающей/приемной катушки.

Принципиальная схема входной части

Выделить отраженный сигнал можно, если вычесть из электрического сигнала, присутствующего в катушке датчика, сигнал той же формы, частоты, фазы и амплитуды, что и сигнал в катушке при отсутствии металла вблизи. Как это можно реализовать одним из способов, показано в виде структурной схемы на рис.16.

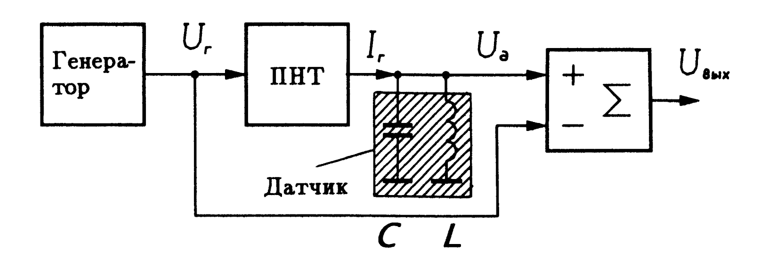


Рис.16. Структурная схема входного узла индукционного металлоискателя

Генератор вырабатывает переменное напряжение синусоидальной формы с постоянной амплитудой и частотой. Преобразователь “напряжение-ток” (ПНТ) преобразует напряжение генератора $\mathbf{U_г}$ в ток $\mathbf{I_г}$, который задается в колебательный контур датчика. Колебательный контур состоит из конденсатора **C** и катушки **L** датчика. Его резонансная частота равна частоте генератора. Коэффициент преобразова-

ния ПНТ выбирается таким, чтобы напряжение колебательного контура $U_д$ равнялось напряжению генератора $U_г$ (в отсутствие металла вблизи датчика). Таким образом, на сумматоре происходит вычитание двух сигналов одинаковой амплитуды, а выходной сигнал - результат вычитания - равен нулю. При появлении металла вблизи датчика возникает отраженный сигнал (иными словами, меняются параметры катушки датчика) и это приводит к изменению напряжения колебательного контура $U_д$. На выходе появляется сигнал, отличный от нуля.

На рис.16 приведен лишь простейший вариант одной из схем входной части металлоискателей рассматриваемого типа, как простейший. Вместо ПНТ в данной схеме в принципе возможно использование токозадающего резистора. Могут быть использованы различные мостовые схемы для включения катушки датчика, сумматоры с различными коэффициентами передачи по инвертирующему и неинвертирующему входам, частичное включение колебательного контура, и т.д. и т.п.

В схеме на рис.16 в качестве датчика используется колебательный контур. Это сделано для простоты, чтобы получить нулевой сдвиг фаз между сигналами $U_г$ и $U_д$ (контур настроен на резонанс). Можно отказаться от колебательного контура с необходимостью точной настройки его на резонанс и использовать в качестве нагрузки ПНТ только катушку датчика. Однако, коэффициент передачи ПНТ для этого случая должен быть комплексным, чтобы скорректировать сдвиг фазы приблизительно на 90°, возникающий из-за индуктивного характера нагрузки ПНТ.

Теоретические соображения

Как уже отмечалось, металлоискатель индукционного типа можно представить как некоторый предельный случай металлоискателя по принципу "передача-прием", когда излучающая и приемная катушка совпадают. Поэтому многими результатами раздела 1.1 можно воспользоваться и для металлоискателя индукционного типа. Кроме того, от металлоискателя на биениях индукционный металлоискатель отличается только способом регистрации отраженного сигнала, поэтому и некоторые результаты раздела 1.2 также будут справедливы для прибора индукционного типа.

Взаимодействие катушки металлоискателя индукционного типа с металлическим объектом может проиллюстрировать рис.15. Отраженный сигнал можно оценить величиной индукции магнитного поля (1.36). В отличие от приборов по принципу "передача-прием", величина отраженного сигнала при допущении (1.3) зависит **только** от расстояния между объектом и датчиком, и не зависит от ориентации датчика на объект.

Дополнительное напряжение, наведенное в катушке датчика отраженным сигналом, вычисляется по формуле (1.17), где индукция отраженного сигнала равна (1.36). Без учета знака это напряжение составляет:

$$U_0 = \frac{pIK_\Sigma}{6\pi r^6} \cdot (\mu_0 SN)^2 \cdot R^3, \qquad (1.39)$$

где p - оператор Лапласа,

I - ток в катушке,
r - расстояние между датчиком и объектом,
S - площадь катушки,
N - число ее витков,
R - эквивалентный радиус объекта,
K_Σ- коэффициент, вычисляемый по формуле (1.23).

Практические соображения

Отклик прибора по напряжению на металлический объект, в соответствии с формулой (1.39), обратно пропорционален шестой степени расстояния. То есть, он практически такой же, как и у металлоискателей по принципу "передача-прием". Аналогичен и принцип регистрации отраженного сигнала. Поэтому теоретическая **чувствительность** индукционного металлоискателя такая же, как и у приборов по принципу "передача-прием".

Теоретические соображения по поводу **селективности**, приведенные в разделе 1.1 для металлоискателя по принципу "передача-прием", справедливы и для индукционного металлоискателя. Селективность определяется коэффициентом (1.23), входящим в формулу (1.39) для напряжения полезного отраженного сигнала.

Из конструктивных особенностей следует отметить **простоту конструкции** датчика металлоискателя. Платой за простоту, как указывалось выше, является необходимость выделения малого полезного сигнала на фоне большого электрического сигнала возбуждения катушки датчика металлоискателя. Если учесть, что соотношение амплитуд этих сигналов может достигать $10^5...10^6$, то ясно, что для

практики это не простая, хотя и вполне разрешимая задача. **Сложность** решения этой задачи заключается в том, что катушка датчика металлоискателя реагирует не только на полезный отраженный сигнал, но и на любое изменение ее параметров. К счастью, чувствительность к механическим деформациям у датчика индукционного металлоискателя намного ниже, чем у приборов по принципу "передача-прием". Однако, возникает специфическая для индукционного металлоискателя проблема температурной чувствительности датчика. Дело в том, что омическое сопротивление провода (обычно медного), которым намотана катушка датчика, практически линейно растет с ростом температуры. Вызванные неизбежными колебаниями температуры, эти сравнительно медленные изменения полного сопротивления и напряжения датчика очень невелики сами по себе, однако сопоставимы или даже больше, чем от воздействия полезного сигнала. Таким образом, актуальной становится задача компенсации температурного дрейфа полного сопротивления катушки датчика металлоискателя.

Выводы

1. **Индукционные металлоискатели сочетают в себе высокую чувствительность и селективность металлоискателей по принципу "передача-прием" и простоту конструкции датчика металлоискателей на биениях.**

2. **Актуальной становится задача компенсации температурного дрейфа параметров катушки датчика металлоискателя.**

3.4 Другие типы металлоискателей

Первый вопрос, который возникает у человека после ознакомления с недостатками и ограничениями тех или иных металлоискателей, звучит приблизительно так: “Какие существуют другие принципы и приборы на их основе для дистанционного обнаружения металлических предметов?” Вопрос закономерен, однако приводимый ниже ответ на него, вероятно, не сильно обрадует любознательного читателя.

Импульсные металлоискатели

В рассмотренных ранее трех типах электронных металлоискателей отраженный сигнал отделяется от излучаемого либо геометрически - за счет взаимного расположения приемной и излучающей катушки, либо с помощью специальных схем компенсации. Очевидно, что может существовать и временной способ разделения излучаемого и отраженного сигналов. Такой способ широко используется, например, в импульсной эхо- и радиолокации. При локации механизм задержки отраженного сигнала обусловлен значительным временем распространения сигнала до объекта и обратно. Однако, применительно к металлоискателям, таким механизмом может быть и явление самоиндукции в проводящем объекте. После воздействия импульса магнитной индукции в проводящем объекте возникает и некоторое время поддерживается вследствие явления самоиндукции затухающий импульс тока, обуславливающий задержанный по времени отраженный сигнал. Таким образом, может быть предложена другая схема металлоискателя, принципиально отличающаяся от рассмотренных ранее по способу разделе-

ния сигналов. Такой металлоискатель получил название импульсного. Он состоит из генератора импульсов тока, приемной и излучающей катушек, устройства коммутации и блока обработки сигнала.

Генератор импульсов тока формирует короткие импульсы тока миллисекундного диапазона, поступающие в излучающую катушку, где они преобразуются в импульсы магнитной индукции. Так как излучающая катушка - нагрузка генератора импульсов имеет ярко выраженный индуктивный характер, на фронтах импульсов у генератора возникают перегрузки в виде всплесков напряжения. Такие всплески могут достигать по амплитуде сотен (!) вольт, однако использование защитных ограничителей недопустимо, так как оно привело бы к затягиванию фронта импульса тока и магнитной индукции и, в конечном счете, к усложнению отделения отраженного сигнала.

Приемная и излучающая катушки могут располагаться друг относительно друга достаточно произвольно, так как прямое проникновение излучаемого сигнала в приемную катушку и действие на нее отраженного сигнала разнесены по времени. В принципе, одна катушка может выполнять роль как приемной, так и излучающей, однако в данном случае гораздо сложнее будет развязать высоковольтные выходные цепи генератора импульсов тока и чувствительные входные цепи.

Устройство коммутации призвано произвести упомянутое выше разделение излучаемого и отраженного сигналов. Оно блокирует входные цепи прибора на определенное время, которое определяется временем действия импульса тока в излучающей катушке, временем разрядки катушки и временем, в течение которого возможно появление корот-

ких откликов прибора от массивных слабопроводящих объектов типа грунта. По истечении же этого времени устройство коммутации должно обеспечить беспрепятственную передачу сигнала с приемной катушки на блок обработки сигнала.

Блок обработки сигнала предназначен для преобразования входного электрического сигнала в удобную для восприятия человеком форму. Он может быть сконструирован на основе решений, используемых в металлоискателях других типов.

К недостаткам импульсных металлоискателей следует отнести сложность реализации на практике дискриминации объектов по типу металла, сложность аппаратуры генерации и коммутации импульсов тока и напряжения большой амплитуды, высокий уровень радиопомех.

Магнитометры

Магнитометрами называется обширная группа приборов, предназначенных для изменения параметров магнитного поля (например, модуля или составляющих вектора магнитной индукции). Использование магнитометров в качестве металлоискателей основано на явлении локального искажения естественного магнитного поля Земли ферромагнитными материалами, например железом. Обнаружив с помощью магнитометра отклонение от обычного для данной местности модуля или направления вектора магнитной индукции поля Земли, можно с уверенностью утверждать о наличии некоторой магнитной неоднородности (аномалии), которая может быть вызвана железным предметом.

По сравнению с рассмотренными ранее металлоискателями, магнитометры имеют гораздо большую дальность

обнаружения железных предметов. Очень впечатляет информация о том, что с помощью магнитометра можно зарегистрировать мелкие обувные гвозди от ботинка на расстоянии 1(м), а легковой автомобиль - на расстоянии 10(м)! Такая большая дальность обнаружения объясняется тем, что аналогом излучаемого поля обычных металлоискателей для магнитометров является однородное магнитное поле Земли, поэтому отклик прибора на железный предмет обратно пропорционален не шестой, а третьей степени расстояния.

Принципиальным недостатком магнитометров является невозможность обнаружения с помощью них предметов из цветных металлов. Кроме того, даже если нас интересует только железо, применение магнитометров для поиска затруднительно. Во-первых, в природе существует большое разнообразие естественных магнитных аномалий самого различного масштаба (отдельные минералы, залежи минералов и т.п.) Во-вторых, магнитометры обычно громоздки и не предназначены для работы в движении.

Для иллюстрации бесполезности магнитометров при поиске кладов и реликвий можно привести такой пример. С помощью обычного компаса, который по сути является простейшим магнитометром, можно зарегистрировать обычное железное ведро на расстоянии около 0,5(м), что само по себе является неплохим результатом. Однако (!), попробуйте с помощью компаса найти то же ведро, спрятанное под землей, в реальных условиях!

Радиолокаторы

Общеизвестен факт, что с помощью современных радиолокаторов можно обнаружить такой объект, как самолет, на расстоянии нескольких сотен километров. Возникает вопрос: неужели современная электроника не позволяет создать компактное устройство, пусть намного уступающее по дальности обнаружения современным стационарным радиолокаторам, но позволяющее обнаруживать интересующие нас предметы (см. название книги)? Ответом является ряд публикаций, в которых такие устройства описаны.

Типичным для них является применение достижений современной микроэлектроники СВЧ, компьютерной обработки полученного сигнала. Использование современных высоких технологий практически делает невозможным самостоятельное изготовление этих устройств. Кроме того, большие габариты пока не позволяют их широко применять в полевых условиях.

К преимуществам радиолокаторов следует отнести принципиально более высокую дальность обнаружения - отраженный сигнал в грубом приближении можно считать подчиняющимся законам геометрической оптики и его ослабление пропорционально не шестой и даже не третьей, а лишь второй степени расстояния.

4. КАКОЙ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЬ ЛУЧШЕ?

Этот вопрос заслужил выделения в отдельную небольшую главу из-за того, что автору приходилось много-много раз его слышать и много раз на него отвечать.

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо уяснить - какие **цели** вы преследуете при поиске и какой **ценой** вы планируете их достичь. Как правило, значительная часть людей и не подозревает, что многие проблемы поиска кладов, реликвий и т.д. решаются не путем улучшения характеристик приборов для поиска, а совсем в ином ключе.

Например, один знакомый автора занимался в свободное время тем, что в течение нескольких лет методично объезжал провинциальные города средней полосы России, находил интересные, с его точки зрения, здания старинной постройки и тщательно исследовал их чердаки и подвалы. Собранный им антиквариат вполне оправдал использованный метод. Аналогичным способом промышляют многие поисковики и в Москве.

Коль речь зашла о чердаках и подвалах, следует также отметить, что металлоискатель вблизи железных труб и железной крыши, скорее всего, бесполезен ввиду "экранирования" небольших предметов поиска массивными посторонними предметами.

Курьезный случай произошел с автором во время весеннего байдарочного похода в Новгородской области. Мощнейший паводок 1994 года срезал ледоходом на многих участках берега рек. В одном месте, не имея металлоискателя, автору удалось найти военных реликвий больше, чем за все остальные походы с прибором (кстати, самой ин-

тересной находкой оказалась германская монета в 20 пфеннингов 1942 года).

Следовательно, прежде чем искать ответ на вопрос, какой металлоискатель лучше, рекомендуется уточнить, а нужен ли он вообще?

Аналогично и с тем, какой ценой планируется осуществить поиск. Тем “горячим головам”, которые отвечают - “любой ценой”, можно порекомендовать тщательно перекопать всю землю в интересующем районе и просеять ее через мелкое сито...

Реалистический же подход, представленный для наглядности в виде таблицы в координатах “деньги-труд”, выглядит так:

Таблица.

		ТРУД	
		Вы разбираетесь в технике, но делать прибор своими руками не собираетесь	**Вы можете сделать прибор своими руками и обладаете необходимыми знаниями**
ДЕНЬГИ	**Вы готовы потратить на прибор до 1000$**	Вы можете купить хороший многофункциональный прибор, изготовленный известными зарубежными фирмами.	Вы сможете не только изготовить нечто **уникальное**, но, возможно, добьетесь того, чего не удалось ни автору, ни фирмам!
	Вы готовы потратить на прибор до 250$	Вы можете купить одну из простых моделей, изготовленную известными зарубежными фирмами.	Вы сможете изготовить хороший многофункциональный прибор, не уступающий зарубежным.
	Вы не собираетесь тратить на это деньги	Вам, увы, не поможет ни что!!!	Вы, вероятно, сможете изготовить несложный прибор, исходя из того, “что есть под рукой”.

Что касается технической стороны дела, то можно с уверенностью сказать, что подавляющее число выпускаемых за рубежом электронных металлоискателей, предназначенных для серьезного поиска, относятся к так называемому классу VLF - металлоискателей (VLF = Very Low Frequency -сверхнизкочастотных), работающих на принципе “передача-прием” на частотах 5-15(кГц). Такие приборы рекомендуются и для самостоятельного изготовления.

Начинающим радиолюбителям можно порекомендовать более простой прибор на биениях, или упрощенные варианты металлоискателей других типов.

Любителям научного эксперимента и неуёмного конструкторского поиска можно, в принципе, рекомендовать металлоискатели всех типов. Однако, по мнению автора, наиболее интересны приборы индукционного типа и по принципу “передача-прием”.

5. РЕАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ

5.1. Глубина обнаружения

Один из главных параметров металлоискателя - это глубина обнаружения объектов. Как правило, для начинающих этот параметр покрыт мраком. Это неудивительно - ни в одном каталоге, рекламирующем металлоискатели вы не найдете указания, на каком расстоянии прибор обнаруживает монету, металлический кувшин и т.п. Указывается, в лучшем случае, сколько весит прибор и какое время он может работать без смены аккумулятора. Иногда приводится параметр "максимальная теоретически возможная глубина обнаружения", которая в несколько раз больше того, о чем думает человек, держащий в руках металлоискатель.

Для того, чтобы прояснить данный вопрос, информация, изложенная ниже, разбита для удобства по шкале размеров различных предметов поиска.

Монета

Начнем с того, что под монетой в описаниях многих зарубежных приборов обычно подразумевается монета диаметром 25(мм). Для тех, кто еще помнит, - это монета СССР достоинством в 5 копеек. Глубина обнаружения такой монеты составляет от 10(см) для несерьезных приборов до 50(см) для очень серьезных. Глубина обнаружения сильно зависит от размера датчика (обычно - диаметр диска с катушками). Ориентировочно, для такой монеты глубина обнаружения приблизительно равна диаметру датчика. Более

мелкие монеты будут обнаруживаться на меньших расстояниях. Например, глубина обнаружения монеты достоинством в 1 копейку будет приблизительно в два раза меньше, чем указано выше для пятака.

Бронзовая статуэтка, пистолет

Естественно, более крупные предметы металлоискатель обнаруживает на большем расстоянии. Для того, чтобы оценить это увеличение, обычно приводят в пример бронзовую статуэтку или пистолет (в качестве реликвии из отечественной истории можно упомянуть пушечное ядро). Глубина обнаружения таких предметов составляет около 1(м). Глубина обнаружения слабо зависит от размера и от типа датчика (он может быть как с компланарными катушками, так и с ортогональными на штанге). Для датчика с катушками большего диаметра и для датчика с системой ортогональных катушек на штанге глубина обнаружения будет несколько больше (на 20% при переходе от дискового датчика диаметром 20(см) к датчику диаметром 30(см)).

Металлический щит, колокола

Все сказанное в предыдущем абзаце справедливо и для этих объектов, за исключением глубины обнаружения, которая лежит в диапазоне 1,5-2,5(м).

Танк, паровоз, самолет

На серьезном языке глубина обнаружения таких объектов называется: “максимальная теоретически возможная глубина обнаружения”. Иными словами, существует **теоре-**

тический предел, дальше которого электронный металлоискатель не в состоянии регистрировать объекты в принципе, несмотря на сколь угодно большие их размеры.

Существование этого предела по глубине обнаружения легко объяснимо, если вспомнить, что амплитуда отраженного сигнала обратно пропорциональна 6-7й степени расстояния, а от размера объекта зависит лишь в 3-5й степени.

Величина максимальной теоретически возможной глубины обнаружения составляет от 1(м) для простейших приборов с дисковым датчиком до 4(м) для сложных приборов с большим датчиком из ортогональных катушек на штанге. К сожалению, именно эта величина обычно фигурирует в рекламных целях, но на такой глубине вы **не найдете ничего!**

ЗАПОМНИТЕ!

Самым современным электронным металлоискателем можно обнаружить среднюю монету на глубине максимум 50 см, крупный массивный цельнометаллический предмет – максимум на 2,5 м.

5.2. Селективность по металлам

В отличие от глубины обнаружения, о весьма скромных значениях которой несведующий человек обычно не догадывается, селективность по металлам представляется более ясным вопросом - так думают многие. И они заблуждаются.

Источником заблуждений служит, как водится, не вполне достоверная реклама. Во многих каталогах и проспектах фирм приведены крупным планом фотографии шкал стрелочных индикаторов металлоискателей. Сразу бросается в глаза, что шкала прибора проградуирована по секторам с указанием вида металла: "железо", "не железо", "золото", "серебро" и т.д. Однако, эта градуировка относится, в основном к небольшим предметам и непригодна для дальнего поиска крупных предметов.

Несостоятельность заявлений о высокой селективности металлоискателей может быть установлена даже чисто умозрительно. В самом деле, что произойдет, если для эксперимента попытаться определить металлоискателем с селектором по металлам мишень, состоящую из двух небольших предметов - один из железа, другой - из серебра? Ясно, что любое показание индикатора окажется ложным. Мало того - в зависимости от **соотношения** масс, формы и размеров этих двух предметов может получиться **любой** результат. Например, стрелка прибора может остановиться на секторе "золото"! С такой же легкостью металлоискатели с селекцией по металлам "путают" железные предметы с нежелезными, в зависимости от их формы и массы. Представьте себе ощущения человека, который вместо обещан-

ных золотых гор обнаруживает после многочасовых раскопок обрезок железнодорожного рельса!!!

Подытоживая, можно сказать следующее. Рекламируемые возможности электронных металлоискателей **преувеличены.** Тем не менее, они до сих пор остаются единственным доступным классом приборов, позволяющих "видеть металлические предметы сквозь землю".

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

6.1 Металлоискатель по принципу "передача-прием"

Предлагаемый металлоискатель предназначен для "дальнего" поиска сравнительно крупных предметов. Он собран по простейшей схеме без дискриминатора по типам металлов. Прибор несложен в изготовлении. Глубина обнаружения составляет:

- пистолет..............0,5 (м)
- каска....................1 (м)
- ведро...................1,5 (м)

Структурная схема

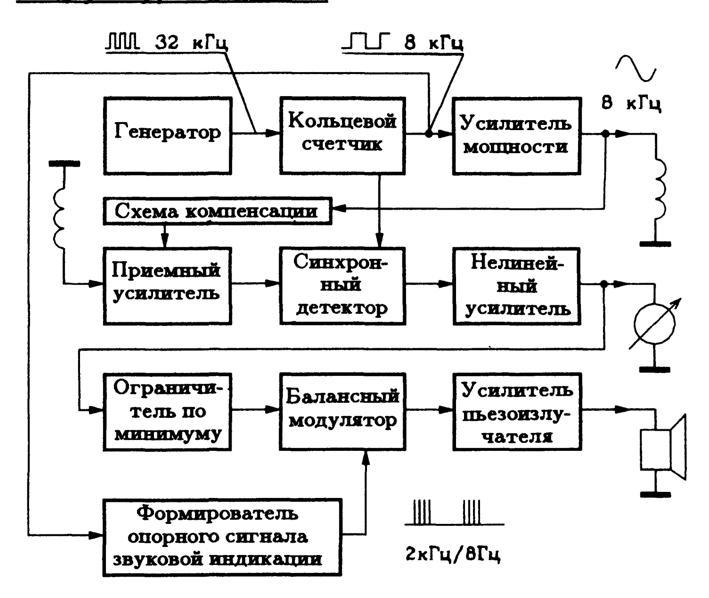


Рис. 17. Структурная схема металлоискателя по принципу "передача-прием".

Структурная схема изображена на рис.17. Она состоит из нескольких функциональных блоков. **Генератор** является источником прямоугольных импульсов, из которых в дальнейшем формируется сигнал, поступающий на излучающую катушку. Этот же сигнал используется для формирования сигнала звуковой индикации. Сигнал генератора делится по частоте на 4 с помощью **кольцевого счетчика** на триггерах. По кольцевой схеме счетчик выполнен для того, чтобы на его выходах можно было сформировать два сигнала, сдвинутых друг относительно друга по фазе на 90°. Прямоугольный сигнал (меандр) подается с первого выхода кольцевого счетчика на вход **усилителя мощности**, нагрузкой которого является колебательный контур с излучающей катушкой. По своему типу усилитель мощности является преобразователем "напряжение-ток", что позволяет предотвратить перегрузки выходного каскада в моменты смены полярности входного прямоугольного сигнала усилителя мощности. **Приемный усилитель** напряжения усиливает сигнал, поступающий с приемной катушки. В приемную катушку кроме полезного проникает также и паразитный сигнал, обусловленный неидеальностью конструкции системы катушек металлоискателя, проводимостью грунта и др. причинами. Для его устранения предназначена **схема компенсации.** Смысл ее работы заключается в том, что в сигнал приемного усилителя подмешивается некоторая часть сигнала с выходного колебательного контура так, чтобы минимизировать (в идеале - довести до нуля) выходной сигнал синхронного детектора при отсутствии вблизи датчика металлических предметов. Настройка схемы компенсации осуществляется с помощью регулировочного потенциометра. **Синхронный детектор** преобразует полезный перемен-

ный сигнал, поступающий с выхода приемного усилителя, в постоянный сигнал. Важной особенностью синхронного детектора является возможность выделения полезного сигнала на фоне шумов и помех, значительно превышающих полезный сигнал по амплитуде. Опорный сигнал синхронного детектора берется со второго выхода кольцевого счетчика, сигнал которого имеет сдвиг по фазе относительно первого выхода на 90^o. Динамический диапазон изменения полезного сигнала как на выходе приемной катушки, так и на выходе синхронного детектора очень широк. Чтобы устройство индикации - стрелочный прибор или звуковой индикатор одинаково хорошо регистрировали как очень слабые сигналы, так и очень (например, в 100 раз) более сильные сигналы, необходимо иметь в составе прибора устройство, сжимающее динамический диапазон. Таким устройством является **нелинейный усилитель**, амплитудная характеристика которого приближается к логарифмической. К выходу нелинейного усилителя подключен стрелочный измерительный прибор. Формирование звукового сигнала индикации начинается **ограничителем по минимуму**, т.е. блоком, имеющим зону нечувствительности для малых сигналов. Это означает, что звуковая индикация включается только для сигналов, превосходящих по амплитуде некоторый порог. Таким образом, слабые сигналы, связанные в основном с движением прибора и его механическими деформациями, не раздражают слух. **Формирователь опорного сигнала звуковой индикации** формирует пачки прямоугольных импульсов частотой 2(кГц) с частотой повторения пачек 8(Гц). С помощью **балансного модулятора** этот опорный сигнал перемножается на выходной сигнал ограничителя по минимуму, формируя таким образом сигнал нужной формы

и нужной амплитуды. **Усилитель пьезоизлучателя** увеличивает амплитуду сигнала, который поступает на акустический преобразователь - пьезоизлучатель.

Принципиальная схема

Принципиальная схема разработанного автором металлоискателя по принципу "передача - прием" приведена на рис.18 - входной блок и рис.19 - блок индикации. Разделение на блоки - условно и не отражает особенностей конструкции.

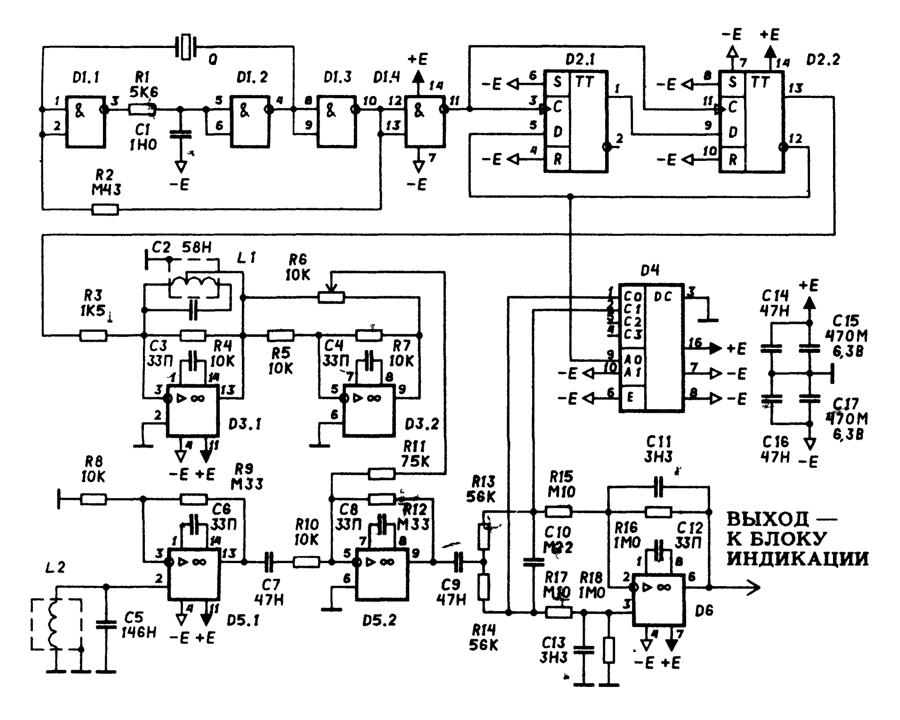


Рис.18. Принципиальная электрическая схема входного блока металлоискателя по принципу "передача-прием".

Генератор

Собран на логических элементах 2И-НЕ D1.1-D1.4. Частота генератора стабилизирована кварцевым или пьезокерамическим резонатором Q с резонансной частотой 2^{15}(Гц) ≈ 32(кГц) ("часовой кварц"). Цепочка R1C1 препятствует возбуждению генератора на высших гармониках. Через резистор R2 замыкается цепь ООС, через резонатор Q - цепь ПОС. Генератор отличается простотой, малым потребляемым током от источника питания, надежно работает при напряжении питания 3-15(В), не содержит подстроечных элементов и чересчур высокоомных резисторов. Выходная частота генератора - около 32(кГц).

Кольцевой счетчик

Кольцевой счетчик выполняет две функции. Во-первых, он делит частоту генератора на 4, до частоты 8(кГц) (рекомендации по выбору частоты - см. гл.1.1). Во-вторых, он формирует два сигнала, сдвинутых друг относительно друга на 90° по фазе. Один сигнал используется для возбуждения колебательного контура с излучающей катушкой, другой - в качестве опорного сигнала синхронного детектора. Кольцевой счетчик представляет собой два D- триггера D2.1 и D2.2, замкнутых в кольцо с инверсией сигнала по кольцу. Тактовый сигнал - общий для обоих триггеров. Любой выходной сигнал первого триггера D2.1 имеет сдвиг по фазе на плюс-минус четверть периода (т.е. на 90°) относительно любого выходного сигнала второго триггера D2.2.

Усилитель мощности

Собран на операционном усилителе (ОУ) D3.1. Колебательный контур с излучающей катушкой образован элементами L1C2. Параметры катушки индуктивности приведены в таблице. Марка провода обмоток - ПЭЛШО 0,44.

В цепь ОС усилителя выходной колебательный контур включен только на 25%, благодаря отводу от 50-го витка излучающей катушки L1. Это позволяет увеличить амплитуду тока в катушке при приемлемом значении емкости прецизионного конденсатора C2.

Таблица. Параметры катушек индуктивности датчика.

Обозначение	**Назначение**	**Количество витков**	**Внутр. диаметр**
L1	излучающая	50+150	190 мм
L2	приемная	100	125 мм

Величина переменного тока в катушке задается резистором R3. Этот резистор должен иметь минимальную величину, но такую, чтобы ОУ усилителя мощности не попадал в режим ограничения выходного сигнала по току (не более 40(мА)) или, - что вероятнее всего при рекомендуемых параметрах катушки индуктивности L1,- по напряжению (не более ±3,5(В) при напряжении батарей питания ±4,5(В)). Для того, чтобы убедиться в отсутствии режима ограничения, достаточно проверить осциллографом форму сигнала на выходе ОУ D3.1. При нормальной работе усилителя на выходе должен присутствовать сигнал, приближающийся по форме к синусоиде. Вершины волн синусоиды должны иметь

плавную форму, "обрезание" вершин должно отсутствовать. Цепь коррекции ОУ D3.1 состоит из корректирующего конденсатора C3 емкостью 33(пФ).

Приемный усилитель

Приемный усилитель - двухкаскадный. Первый каскад выполнен на ОУ D5.1. Он обладает высоким входным сопротивлением благодаря последовательной ООС по напряжению. Это позволяет исключить потери полезного сигнала вследствие шунтирования колебательного контура L2C5 входным сопротивлением усилителя. Коэффициент усиления первого каскада по напряжению составляет: K_U = =(R9/R8) + 1 = 34. Цепь коррекции ОУ D5.1 состоит из корректирующего конденсатора C6 емкостью 33(пФ).

Второй каскад приемного усилителя выполнен на ОУ D5.2 с параллельной ООС по напряжению. Входное сопротивление второго каскада: R_{BX} = R10 = 10(кОм) - не так критично, как первого, ввиду низкоомности его источника сигнала. Разделительный конденсатор C7 не только предотвращает накапливание статической погрешности по каскадам усилителя, но и корректирует его ФЧХ. Емкость конденсатора выбирается такой, чтобы создаваемое цепочкой C7R10 опережение по фазе на рабочей частоте 8(кГц) компенсировало запаздывание по фазе, вызванное конечным быстродействием ОУ D5.1 и D5.2.

Второй каскад приемного усилителя, благодаря своей схеме, позволяет легко осуществить суммирование (подмешивание) сигнала от схемы компенсации через резистор R11. Коэффициент усиления второго каскада по напряжению полезного сигнала составляет: K_U = – R12/R10 = –33,

а по напряжению компенсирующего сигнала: K_{UK}= =–R12/R11 ≈ –4. Цепь коррекции ОУ D5.2 состоит из корректирующего конденсатора С8 емкостью 33(пФ).

Схема компенсации

Выполнена на ОУ D3.2 и представляет собой инвертор с K_U = – R7/R5 = –1. Регулировочный потенциометр R6 включен между входом и выходом этого инвертора и позволяет снять сигнал, лежащий в диапазоне [–1,+1] от выходного напряжения ОУ D3.1. Выходной сигнал схемы компенсации с движка регулировочного потенциометра R6 поступает на компенсирующий вход второго каскада приемного усилителя (на резистор R11). Регулировкой потенциометра R6 добиваются нулевого значения на выходе синхронного детектора, что приблизительно соответствует компенсации проникшего в приемную катушку нежелательного сигнала. Цепь коррекции ОУ D3.2 состоит из корректирующего конденсатора С4 емкостью 33(пФ).

Синхронный детектор

Синхронный детектор состоит из балансного модулятора, интегрирующей цепочки и усилителя постоянных сигналов (УПС). Балансный модулятор реализован на основе многофункционального коммутатора D4, выполненного по интегральной технологии с комплементарными полевыми транзисторами как в качестве управляющих дискретных вентилей, так и в качестве аналоговых ключей. Коммутатор работает в качестве аналогового переключателя. С частотой 8(кГц) он поочередно замыкает на общую шину выходы “треугольника” интегрирующей цепочки, состоящей из ре-

зисторов R13 и R14 и конденсатора C10. Сигнал опорной частоты поступает на балансный модулятор с одного из выходов кольцевого счетчика.

Сигнал на вход “треугольника” интегрирующей цепочки поступает через разделительный конденсатор C9 с выхода приемного усилителя. Постоянная времени интегрирующей цепочки $\tau \approx R13 \cdot C10 = R14 \cdot C10$. Она должна быть, с одной стороны, как можно больше, чтобы как можно сильнее ослабить влияние шумов и помех. С другой стороны, она не должна превышать некоторый предел, когда инерционность интегрирующей цепочки препятствует отслеживанию быстрых изменений амплитуды полезного сигнала.

Наибольшую скорость изменения амплитуды полезного сигнала можно охарактеризовать некоторым минимальным временем, за которое может произойти это изменение (от установившегося значения до максимального отклонения) при движении датчика металлоискателя относительно металлического предмета. Очевидно, что максимальная скорость изменения амплитуды полезного сигнала будет наблюдаться при максимальной скорости движения датчика. Она может достигать 5(м/с) для “маятникового” движения датчика на штанге. Время изменения амплитуды полезного сигнала можно оценить как отношение базы датчика к скорости движения. Положив минимальное значение базы датчика, равное 0,2(м), получим минимальное время изменения амплитуды полезного сигнала 40(мс). Это в несколько раз больше, чем постоянная времени интегрирующей цепочки при выбранных номиналах резисторов R13, R14 и конденсатора C10. Следовательно, инерционность интегрирующей цепочки не исказит динамику даже самых быстрых

из всех возможных изменений амплитуды полезного сигнала от датчика металлоискателя.

Выходной сигнал интегрирующей цепочки снимается с конденсатора C10. Так как у последнего обе обкладки находятся под "плавающими потенциалами", УПС представляет собой дифференциальный усилитель, выполненный на ОУ D6. Помимо усиления постоянного сигнала, УПС выполняет функцию фильтра нижних частот (ФНЧ), дополнительно ослабляющего нежелательные высокочастотные компоненты на выходе синхронного детектора, связанные, в основном, с неидеальностью балансного модулятора. ФНЧ реализуется благодаря конденсаторам C11, C13. В отличие от остальных узлов металлоискателя, ОУ УПС по своим параметрам должен приближаться к прецизионным ОУ. В первую очередь, это относится к величине входного тока, величине напряжения смещения и величине температурного дрейфа напряжения смещения. Удачным вариантом, сочетающим хорошие параметры и относительную доступность, является ОУ типа К140УД14 (или КР140УД1408). Цепь коррекции ОУ D6 состоит из корректирующего конденсатора C12 емкостью 33(пФ).

Нелинейный усилитель

Выполнен на ОУ D7.1 с нелинейной ООС по напряжению. Нелинейная ООС реализована двухполюсником, состоящим из диодов VD1-VD8 и резисторов R20-R24. Амплитудная характеристика нелинейного усилителя приближается к логарифмической. Она представляет собой кусочно-линейную, с 4-мя точками излома для каждой полярности, аппроксимацию логарифмической зависимости.

Благодаря плавной форме вольтамперных характеристик диодов амплитудная характеристика нелинейного усилителя сглажена в точках излома. Малосигнальный

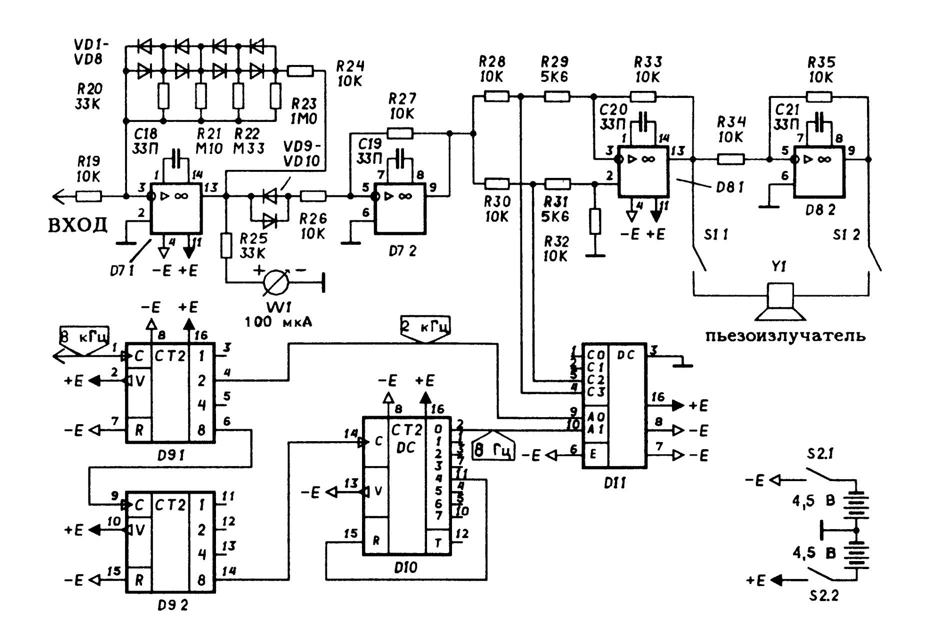


Рис 19 Принципиальная электрическая схема блока индикации металлоискателя по принципу "передача-прием"

коэффициент усиления нелинейного усилителя по напряжению составляет: $K_{UK} = -(R23+R24)/R19 \approx -100$. С ростом амплитуды входного сигнала коэффициент усиления уменьшается. Дифференциальный коэффициент усиления для большого сигнала составляет: $\partial U_{ВЫХ}/\partial U_{ВХ} = -R24/R19 = -1$. К выходу нелинейного усилителя подключен стрелочный измерительный прибор - микроамперметр с последовательно включенным добавочным резистором R25. Так как

напряжение на выходе синхронного детектора может иметь любую полярность (в зависимости от сдвига фазы между его опорным и входным сигналами), использован микроамперметр с нулем в середине шкалы. Таким образом, стрелочный прибор имеет диапазон индикации –100 ... 0 ... +100(мкА). Цепь коррекции ОУ D7.1 состоит из корректирующего конденсатора C18 емкостью 33(пФ).

Ограничитель по минимуму

Реализован на ОУ D7.2 с нелинейной параллельной ООС по напряжению Нелинейность заключена во входном двухполюснике и состоит из двух встречно-параллельно включенных диодов VD9, VD10 и резистора R26.

Формирование звукового сигнала индикации из выходного сигнала нелинейного усилителя начинается с еще одной корректировки амплитудной характеристики усилительного тракта. В данном случае формируется зона нечувствительности в области малых сигналов. Это означает, что звуковая индикация включается только для сигналов, превосходящих некоторый порог. Этот порог определяется прямым напряжением диодов VD9, VD10 и составляет около 0,5(В). Таким образом, слабые сигналы, связанные в основном с движением прибора и его механическими деформациями, отсекаются и не раздражают слух.

Малосигнальный коэффициент усиления ограничителя по минимуму равен нулю. Дифференциальный коэффициент усиления по напряжению для большого сигнала составляет: $\partial U_{ВЫХ}/\partial U_{ВХ} = -R27/R26 = -1$. Цепь коррекции ОУ D7.2 состоит из корректирующего конденсатора C19 емкостью 33(пФ).

Балансный модулятор

Сигнал звуковой индикации формируется следующим образом. Постоянный или медленно меняющийся сигнал на выходе ограничителя по минимуму перемножается на опорный сигнал звуковой индикации. Опорный сигнал задает форму для звукового сигнала, а выходной сигнал ограничителя по минимуму - амплитуду. Перемножение двух сигналов осуществляется с помощью балансного модулятора. Он реализован на многофункциональном коммутаторе D11, работающем в качестве аналогового ключа, и ОУ D8.1. Коэффициент передачи устройства равен +1 при разомкнутом ключе и –1 - при замкнутом. Цепь коррекции ОУ D8.1 состоит из корректирующего конденсатора C20 емкостью 33(пФ).

Формирователь опорного сигнала звуковой индикации

Реализован на двоичном счетчике D9 и счетчике-дешифраторе D10. Счетчик D9 делит частоту 8(кГц) с выхода кольцевого счетчика до частоты 2(кГц) и 32(Гц). Сигнал с частотой 2(кГц) поступает на младший разряд адреса A0 многофункционального коммутатора D11, задавая таким образом тональный сигнал с наиболее чувствительной для человеческого уха частотой. Этот сигнал будет воздействовать на аналоговый ключ балансного модулятора только в том случае, когда на старшем разряде адреса A1 многофункционального коммутатора D11 будет присутствовать логическая единица. При логическом нуле на A1 аналоговый ключ балансного модулятора все время разомкнут.

Сигнал звуковой индикации формируется прерывистым, чтобы меньше утомлялся слух. Для этого используется счетчик-дешифратор D10, который управляется тактовой частотой 32(Гц) с выхода двоичного счетчика D9 и формирует на своем выходе прямоугольный сигнал с частотой 8(Гц) и соотношением длительности логической единицы и логического нуля, равным 1/3. Выходной сигнал счетчика-дешифратора D10 поступает на старший разряд адреса A1 многофункционального коммутатора D11, периодически прерывая формирование тональной посылки в балансном модуляторе.

Усилитель пьезоизлучателя

Реализован на ОУ D8.2. Он представляет собой инвертор с коэффициентом усиления по напряжению $K_U = -1$. Нагрузка усилителя - пьезоизлучатель - включена по мостовой схеме между выходами ОУ D8.1 и D8.2. Это позволяет в два раза увеличить амплитуду выходного напряжения на нагрузке. Выключатель S предназначен для отключения звуковой индикации (например, при настройке). Цепь коррекции ОУ D8.2 состоит из корректирующего конденсатора C21 емкостью 33(пФ).

Типы деталей и конструкция

Типы используемых **микросхем** приведены в таблице. Вместо микросхем серии K561 возможно использование микросхем серии K1561. Можно попытаться применить некоторые микросхемы серии K176 и зарубежные аналоги.

Сдвоенные операционные усилители (ОУ) серии K157 можно заменить любыми сходными по параметрам одиноч-

ными ОУ общего назначения (с соответствующими изменениями в цоколёвке и цепях коррекции), хотя применение сдвоенных ОУ удобнее (возрастает плотность монтажа). ОУ синхронного детектора D6, как уже указывалось выше, по своим параметрам должен приближаться к прецизионным ОУ. Кроме типа, указанного в таблице, подойдут К140УД14, 140УД14. Возможно применение ОУ К140УД12, 140УД12, КР140УД1208 в соответствующей схеме включения.

Таблица. Используемые микросхемы.

Обозначение по рис.18, рис.19	***Тип***	***Функциональное назначение***
D1	К561ЛА7	4 эл-та 2И-НЕ
D2	К561ТМ2	2 D-триггера
D3, D5, D7, D8	К157УД2	сдвоенный ОУ
D4, D11	К561КП1	2 коммутатора 4 на 1
D6	КР140УД1408	точный ОУ
D9	К561ИЕ10	2 двоичн. счетчика
D10	К561ИЕ9	счетчик-дешифратор

К применяемым в схеме металлоискателя **резисторам** не предъявляется особых требований. Они лишь должны иметь прочную конструкцию и быть удобны для монтажа. Номинал рассеиваемой мощности 0,125-0,25(Вт).

Потенциометр компенсации R6 желателен многооборотный типа СП5-44 или с нониусной подстройкой типа СП5-35. Можно обойтись и обычными потенциометрами любых типов. В этом случае желательно их использовать два. Один - для грубой подстройки, номиналом 10(кОм),

включенный в соответствии со схемой. Другой - для точной подстройки, включенный по схеме реостата в разрыв одного из крайних выводов первого потенциометра, номиналом 0,5-1(кОм).

Конденсаторы C15, C17 - электролитические. Рекомендуемые типы - К50-29, К50-35, К53-1, К53-4 и др. малогабаритные. Остальные конденсаторы, за исключением конденсаторов колебательных контуров приемной и излучающей катушек, - керамические типа К10-7 (до номинала 68(нФ)) и металлопленочные типа К73-17 (номиналы выше 68(нФ)). Конденсаторы контуров - C2 и C5 - особые. К ним предъявляются высокие требования по точности и термостабильности. Каждый конденсатор состоит из нескольких (5...10 шт.) конденсаторов, включенных в параллель. Настройка контуров в резонанс осуществляется подбором количества конденсаторов и их номинала. Рекомендуемый тип конденсаторов К10-43. Их группа по термостабильности - МП0 (т.е. приблизительно нулевой ТКЕ). Возможно применение прецизионных конденсаторов и других типов, например, К71-7. В конце концов, можно попытаться использовать старинные термостабильные слюдяные конденсаторы с серебряными обкладками типа КСО или полистирольные конденсаторы.

Диоды VD1-VD10 типа КД521, КД522 или аналогичные кремниевые маломощные.

Микроамперметр - любого типа на ток 100(мкА) с нулем посередине шкалы. Удобны малогабаритные микроамперметры, например, типа М4247.

Кварцевый резонатор Q - любой малогабаритный часовой кварц (аналогичные используются также в портативных электронных играх).

Выключатель питания - любого типа малогабаритный. Батареи питания - типа 3R12 - по международному обозначению, “квадратные” - по нашему.

Пьезоизлучатель Y1 - может быть типа ЗП1...ЗП18. Хорошие результаты получаются при использовании пьезоизлучателей импортных телефонов (идут в огромных количествах “в отвал” при изготовлении телефонов с определителем номера).

Конструкция прибора может быть достаточно произвольной. При ее разработке желательно учесть рекомендации, изложенные ниже, а также в параграфах, посвященных датчикам и конструкции корпусов.

Внешний вид прибора приведен на рис.20. По своему

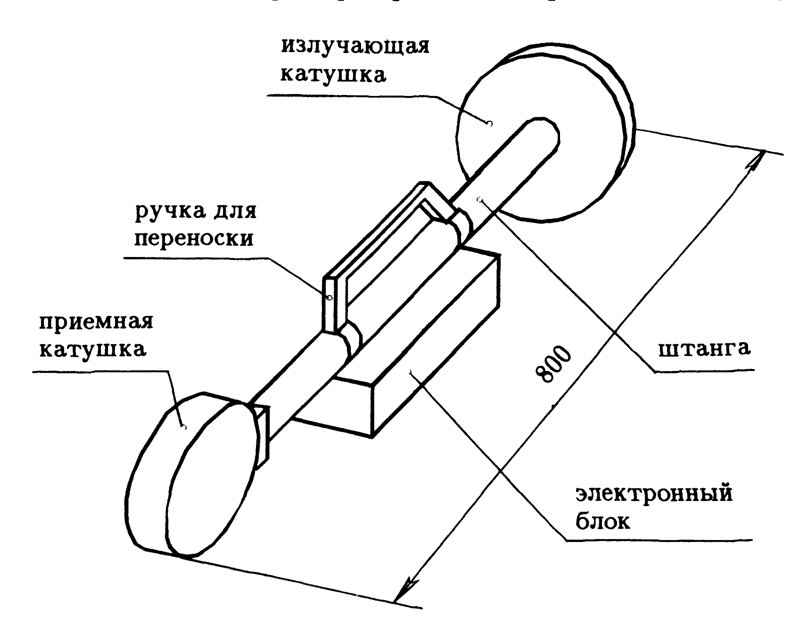


Рис.20. Конструкция металлоискателя по принципу “передача-прием”. Общий вид.

типу датчик предлагаемого металлоискателя относится к датчикам с перпендикулярными осями. Катушки датчика склеены из стеклотекстолита эпоксидным клеем. Этим же клеем залиты обмотки катушек вместе с арматурой их электрических экранов. Штанга металлоискателя изготовлена из трубы из алюминиевого сплава (АМГ3М, АМГ6М или Д16Т) диаметром 48 мм и с толщиной стенки 2-3 мм. Катушки приклеены к штанге эпоксидным клеем. Соосная (излучающая) - с помощью переходной усиливающей втулки, перпендикулярная к оси штанги (приемная) - с помощью подходящей формы переходника. Указанные вспомогательные детали изготовлены также из стеклотекстолита. Корпус электронного блока изготовлен из фольгированного стеклотекстолита путем пайки. Соединения катушек датчика с электронным блоком выполнены экранированным проводом с внешней изоляцией и проложены внутри штанги. Экраны этого провода подключены только к шине общего провода на плате электронной части прибора, куда также подключаются экран корпуса в виде фольги и штанга. Снаружи прибор покрашен нитроэмалью.

Печатная плата электронной части металлоискателя может быть изготовлена любым из традиционных способов, удобно также использовать готовые макетные печатные платы под DIP корпуса микросхем (шаг 2,5 мм).

Налаживание прибора

Налаживание прибора рекомендуется производить в следующей последовательности.

1. Проверить правильность монтажа по принципиальной схеме. Убедиться в отсутствии коротких замыканий ме-

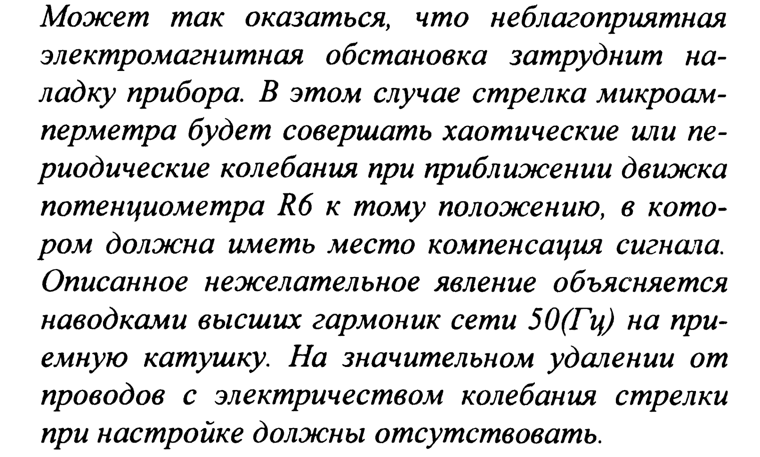
жду соседними проводниками печатной платы, соседними ножками микросхем и т.п.

2. Подключить батареи или двуполярный источник питания, строго соблюдая полярность. Включить прибор и измерить потребляемый ток. Он должен составлять около 20(мА) по каждой шине питания. Резкое отклонение измеренных значений от указанной величины свидетельствует о неправильности монтажа или неисправности микросхем.
3. Убедиться в наличии на выходе генератора чистого меандра с частотой около 32(кГц).
4. Убедиться в наличии на выходах триггеров D2 меандра с частотой около 8(кГц).
5. Подбором конденсатора C2 настроить выходной контур L1C2 в резонанс. В простейшем случае - по максимуму амплитуды напряжения на нем (около 10(В)), а более точно - по нулевому фазовому сдвигу напряжения контура относительно меандра на выходе 12 триггера D2.
6. Убедиться в работоспособности приемного усилителя. Настроить его входной колебательный контур L2C5 в резонанс. В качестве входного сигнала вполне достаточно паразитного сигнала, проникающего из излучающей катушки. Настройка в резонанс, как и для выходного контура, осуществляется подпайкой или удалением необходимого количества конденсаторов подходящих номиналов.
7. Убедиться в возможности компенсации паразитного сигнала потенциометром R6. Для этого сначала осциллографом контролируют выход ОУ D5.2. При вращении оси потенциометра R6 амплитуда сигнала с частотой 8(кГц) на выходе ОУ D5.2 должна меняться и в одном из сред-

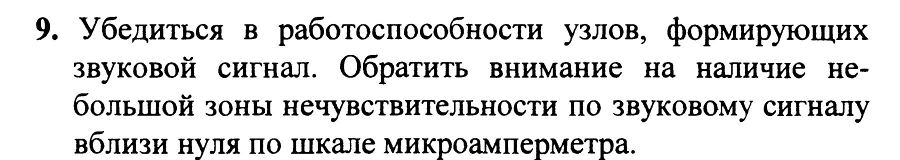
них положений движка R6 эта амплитуда будет минимальна. Далее следует проконтролировать выход синхронного детектора - выход ОУ D6. При вращении оси потенциометра R6 величина постоянного сигнала на выходе ОУ D6 должна меняться от максимального значения +3,5(В) до минимального -3,5(В) или наоборот. Переход этот достаточно резкий и чтобы его "поймать", как раз и удобно воспользоваться возможностями точной подстройки, упомянутой выше. Настройка заключается в установлении с помощью потенциометра R6 напряжения на выходе ОУ D6, равного нулю. **Внимание! Настройку потенциометром R6 необходимо проводить при отсутствии вблизи катушек датчика металлоискателя крупных металлических предметов, включая измерительные приборы! В противном случае, при перемещении этих предметов или при перемещении датчика относительно них прибор расстроится, а при наличии крупных металлических предметов вблизи датчика установить выходное напряжение синхронного детектора в ноль не удастся.** О компенсации см. также ниже в параграфе о возможных модификациях.

8. Убедиться в работе нелинейного усилителя. Простейший способ - визуально. Микроамперметр должен реагировать на процесс настройки, производимой потенциометром R6. При некотором положении движка R6 стрелка микроамперметра должна установиться в ноль. Чем дальше стрелка микроамперметра находится от нуля, тем слабее должен реагировать микроамперметр на вращение движка R6.





Может так оказаться, что неблагоприятная электромагнитная обстановка затруднит наладку прибора. В этом случае стрелка микроамперметра будет совершать хаотические или периодические колебания при приближении движка потенциометра R6 к тому положению, в котором должна иметь место компенсация сигнала. Описанное нежелательное явление объясняется наводками высших гармоник сети 50(Гц) на приемную катушку. На значительном удалении от проводов с электричеством колебания стрелки при настройке должны отсутствовать.



9. Убедиться в работоспособности узлов, формирующих звуковой сигнал. Обратить внимание на наличие небольшой зоны нечувствительности по звуковому сигналу вблизи нуля по шкале микроамперметра.

При наличии неполадок и отклонений в поведении отдельных узлов схемы металлоискателя следует действовать по общепринятой методике:

- проверить отсутствие самовозбуждения ОУ,
- проверить режимы ОУ по постоянному току,
- сигналы и логические уровни входов/выходов цифровых микросхем, и т.д. и т.п.

Возможные модификации

Схема прибора достаточно проста и поэтому речь может идти только о дальнейших усовершенствованиях. К ним можно отнести:

1. Добавление дополнительного потенциометра компенсации R6*, включенного параллельно R6 по крайним выводам. Движок этого потенциометра подключается через конденсатор емкостью 510(пФ) (необходимо уточнить экспериментально) к инвертирующему входу 5 ОУ D5.2. В такой конфигурации будет две степени свободы при компенсации паразитного сигнала (по синусу и по косинусу), что может помочь настройке прибора при эксплуатации со значительными температурными перепадами датчика, при высокой минерализации грунта и т.д.
2. Добавление дополнительного канала визуальной индикации, содержащего синхронный детектор, нелинейный усилитель и микроамперметр. Опорный сигнал синхронного детектора дополнительного канала берется со сдвигом на четверть периода относительно опорного сигнала основного канала (с любого выхода другого триггера кольцевого счетчика). Обладая некоторым опытом поиска, можно по показаниям двух стрелочных приборов научиться оценивать характер обнаруженного объекта, т.е. работать не хуже электронного дискриминатора.
3. Добавление защитных диодов, включенных в обратной полярности параллельно источникам питания. При ошибке в полярности включения батарей в этом случае гарантируется, что схема металлоискателя не пострадает (хотя, если вовремя не среагировать, полностью разрядится неправильно включенная батарея). Включать диоды последовательно с шинами питания не рекомендуется, так как в этом случае на них пропадет впустую 0,3-0,6(В) драгоценного напряжения источников питания. Тип защитных диодов - КД243, КД247, КД226 и т.п.

6.2 Металлоискатель на биениях

Предлагаемый металлоискатель предназначен для “ближнего” поиска предметов. Он собран по простейшей схеме. Прибор компактен и несложен в изготовлении. Глубина обнаружения составляет:

- монета ∅25мм............5 (см)
- пистолет....................10 (см)
- каска.........................20 (см)

Структурная схема

Структурная схема изображена на рис.21. Она состоит из нескольких функциональных блоков. **Кварцевый генератор** является источником прямоугольных импульсов стабильной частоты. К **измерительному генератору** подключен колебательный контур, в состав которого входит датчик - катушка индуктивности. Выходные сигналы обоих генераторов поступают на входы **синхронного детектора**, который на своем выходе формирует сигнал разностной частоты. Этот сигнал имеет приблизительно пилообразную форму. Для удобства дальнейшей обработки сигнал синхронного детектора преобразуется с помощью **триггера Шмидта** в сигнал прямоугольной формы. **Устройство индикации** предназначено для формирования звукового сигнала разностной частоты с помощью пьезоизлучателя и для визуального отображения величины этой частоты с помощью светодиодного индикатора.

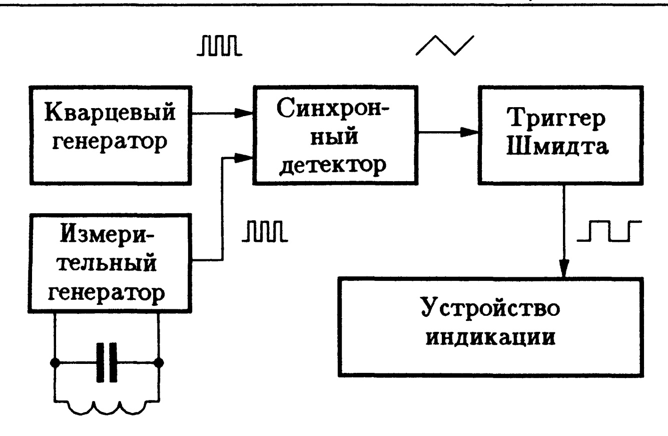


Рис.21. Структурная схема металлоискателя на биениях

Принципиальная схема

Принципиальная схема разработанного автором металлоискателя на биениях изображена на рис.22.

Кварцевый генератор

Имеет схему, аналогичную со схемой генератора металлоискателя по принципу "передача-прием", но реализованную на инверторах D1.1-D1.3. Частота генератора стабилизирована кварцевым или пьезокерамическим резонатором Q с резонансной частотой 2^{15}(Гц) ≈ 32(кГц) ("часовой кварц"). Цепочка R1C2 препятствует возбуждению генератора на высших гармониках. Через резистор R2 замыкается цепь ООС, через резонатор Q - цепь ПОС. Генератор отличается простотой, малым потребляемым током от источника питания, надежно работает при напряжении питания

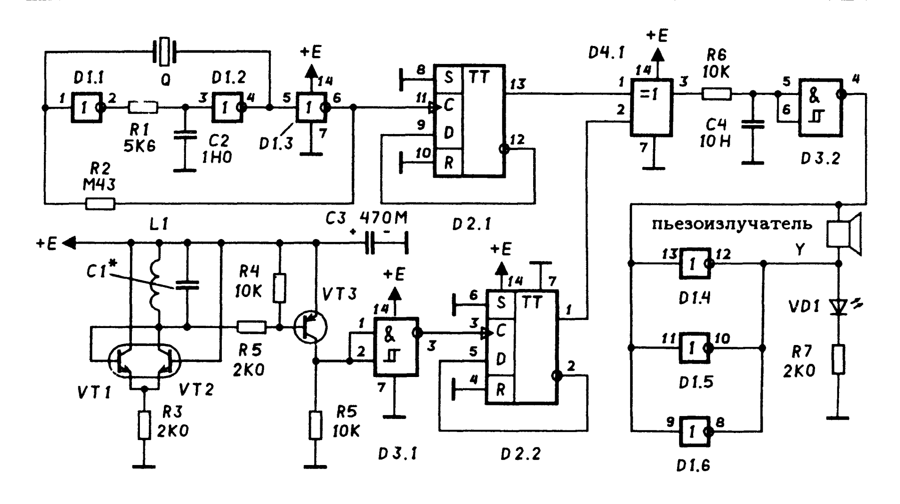


Рис.22. Принципиальная электрическая схема металлоискателя на биениях.

3-15(В), не содержит подстроечных элементов и чересчур высокоомных резисторов. Выходная частота генератора - около 32(кГц). Дополнительный счетный триггер D2.1 необходим для формирования сигнала со скважностью, в точности равной 2, что требуется для последующей схемы синхронного детектора.

Измерительный генератор

Непосредственно генератор реализован на дифференциальном каскаде на транзисторах VT1, VT2. Цепь ПОС реализована гальванически, что упрощает схему. Нагрузкой дифференциального каскада является колебательный контур L1C1. Частота генерации зависит от резонансной частоты колебательного контура и, в некоторой степени, от режимного тока дифференциального каскада. Этот ток

задается резисторами R3 и R3'. Подстройка частоты измерительного генератора при настройке прибора осуществляется грубо - подбором емкости C1 и плавно - регулировкой потенциометром R3'.

Для преобразования низковольтного выходного сигнала дифференциального каскада к стандартным логическим уровням цифровых КМОП- микросхем служит каскад по схеме с общим эмиттером на транзисторе VT3. Формирователь с триггером Шмидта на входе на элементе D3.1 обеспечивает крутые фронты импульсов для нормальной работы последующего счетного триггера.

Дополнительный счетный триггер D2.2 необходим для формирования сигнала со скважностью, в точности равной 2, что требуется для последующей схемы синхронного детектора.

Синхронный детектор

Состоит из перемножителя, реализованного на элементе D4.1 "Исключающее ИЛИ" и интегрирующей цепочки R6C4. Его выходной сигнал близок по форме к пилообразному, а частота этого сигнала равна разности частот кварцевого генератора и измерительного генератора.

Триггер Шмидта

Реализован на элементе D3.2 и формирует прямоугольные импульсы из пилообразного напряжения синхронного детектора.

Устройство индикации

Является просто мощным буферным инвертором, реализованным на трех оставшихся инверторах D1.4-D1.6, включенных в параллель для увеличения нагрузочной способности. Нагрузкой устройства индикации являются светодиод и пьезоизлучатель.

Типы деталей и конструкция

Типы используемых **микросхем** приведены в таблице.

Таблица.

Обозначение по рис.22	***Тип***	***Функциональное назначение***
D1	К561ЛН2	6 инверторов
D2	К561ТМ2	2 D-триггера
D3	К561ТЛ1	4 эл-та 2И-НЕ с триг. Шмидта на входах
D4	К561ЛП2	4 эл-та "Исключающее ИЛИ"

Вместо микросхем серии К561 возможно использование микросхем серии К1561. Можно попытаться применить некоторые микросхемы серии К176. **Входы неиспользуемых элементов цифровых микросхем нельзя оставлять неподключенными! Их следует соединить либо с общей шиной, либо с шиной питания.**

Транзисторы VT1, VT2 являются элементами интегральной транзисторной сборки типа К159НТ1 с любой буквой. Их можно заменить на дискретные транзисторы с *npn*

проводимостью типов КТ315, КТ312 и т.п. Транзистор VT3 - типа КТ361 с любой буквой или аналогичного типа с *pnp* проводимостью.

К применяемым в схеме металлоискателя **резисторам** не предъявляется особых требований. Они лишь должны иметь прочную конструкцию и быть удобны для монтажа. Номинал рассеиваемой мощности 0,125-0,25(Вт).

Потенциометр компенсации R3' желателен многооборотный типа СП5-44 или с нониусной подстройкой типа СП5-35. Можно обойтись и обычными потенциометрами любых типов. В этом случае желательно их использовать два последовательно включенных. Один - для грубой подстройки, номиналом 1(кОм). Другой - для точной подстройки, номиналом 100(Ом).

Катушка индуктивности L1 имеет внутренний диаметр намотки 160(мм), содержит 100 витков провода. Тип провода - ПЭЛ, ПЭВ, ПЭЛШО и т.п. Диаметр провода 0,2-0,5(мм). О конструкции катушки см. отдельный параграф ниже.

Конденсатор C3 - электролитический. Рекомендуемые типы - К50-29, К50-35, К53-1, К53-4 и др. малогабаритные. Остальные конденсаторы, за исключением конденсатора колебательного контура катушки измерительного генератора, - керамические типа К10-7 и т.п. Конденсатор контура - C1 особый. К нему предъявляются высокие требования по точности и термостабильности. Конденсатор состоит из нескольких (5...10 шт.) отдельных конденсаторов, включенных в параллель. Грубая настройка контура на частоту кварцевого генератора осуществляется подбором количества конденсаторов и их номинала. Рекомендуемый тип конденсаторов К10-43. Их группа по термостабильности - МП0

(т.е. приблизительно нулевой ТКЕ). Возможно применение прецизионных конденсаторов и других типов, например, К71-7. В конце концов, можно попытаться использовать термостабильные слюдяные конденсаторы с серебряными обкладками типа КСО или полистирольные конденсаторы.

Светодиод VD1 типа АЛ336 или аналогичный с высоким КПД. Подойдет и любой другой светодиод видимого диапазона излучения.

Кварцевый резонатор Q - любой малогабаритный часовой кварц (аналогичные используются также в портативных электронных играх).

Пьезоизлучатель Y1 - может быть типа ЗП1...ЗП18. Хорошие результаты получаются при использовании пьезоизлучателей импортных телефонов (идут в огромных количествах "в отвал" при изготовлении телефонов с определителем номера).

Конструкция прибора может быть достаточно произвольной. При ее разработке желательно учесть рекомендации, изложенные ниже в параграфах, посвященных датчикам и конструкции корпусов.

Печатная плата электронной части металлоискателя может быть изготовлена любым из традиционных способов, удобно также использовать готовые макетные печатные платы под DIP корпуса микросхем (шаг 2,5 мм).

Налаживание прибора

Налаживание прибора рекомендуется производить в следующей последовательности.

1. Проверить правильность монтажа по принципиальной схеме. Убедиться в отсутствии коротких замыканий ме-

жду соседними проводниками печатной платы, соседними ножками микросхем и т.п.

2. Подключить батарею или источник питания 9(В), строго соблюдая полярность. Включить прибор и измерить потребляемый ток. Он должен составлять около 10(мА). Резкое отклонение от указанной величины свидетельствует о неправильности монтажа или неисправности микросхем.
3. Убедиться в наличии на выходе кварцевого генератора и на выходе элемента D3.1 чистого меандра с частотой около 32(кГц).
4. Убедиться в наличии на выходах триггеров D2.1 и D2.2 сигналов с частотами около 16(кГц).
5. Убедиться в наличии на входе элемента D3.2 пилообразного напряжения разностной частоты, а на его выходе - прямоугольных импульсов.
6. Убедиться в работоспособности устройства индикации - визуально и на слух.

Возможные модификации

Схема прибора предельно проста и поэтому речь может идти только о дальнейших усовершенствованиях. К ним можно отнести:

1. Добавление дополнительного светодиодного логарифмического индикатора частоты.
2. Использование трансформаторного датчика в измерительном генераторе.

Рассмотрим эти модификации подробнее.

Логарифмический индикатор частоты

Представляет собой усовершенствованный светодиодный индикатор. Его шкала состоит из восьми отдельных светодиодов. При достижении измеряемой частотой некоторого порога, на шкале загорается соответствующий светодиод, остальные семь - не горят. Особенность индикатора заключается в том, что пороги срабатывания по частоте для соседних светодиодов отличаются друг от друга в два раза. Иными словами, шкала индикатора имеет логарифмическую градуировку, что очень удобно для такого прибора, как металлоискатель на биениях. Принципиальная схема логарифмического индикатора частоты приведена на рис.23. Несмотря на то, что схема этого индикатора была разработана

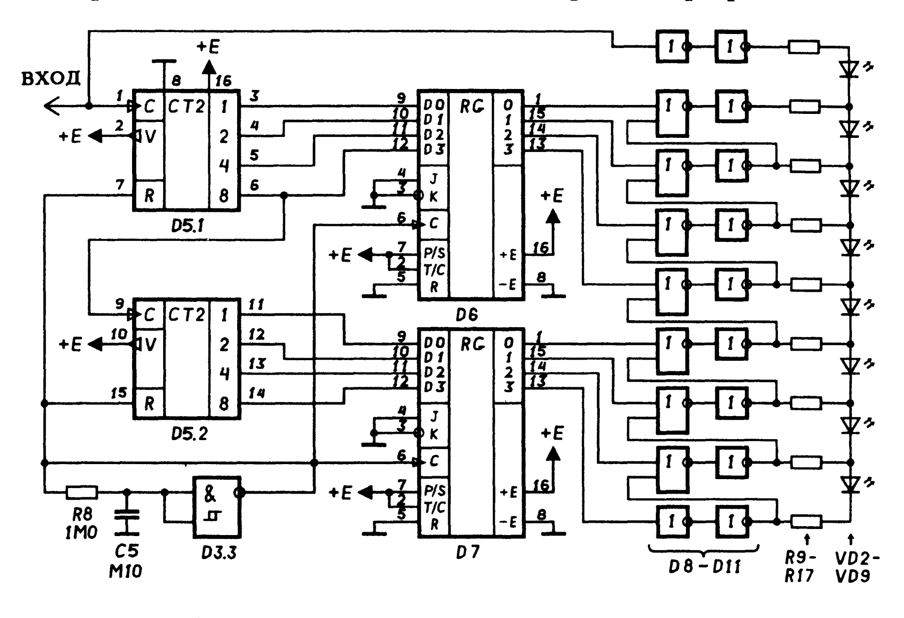


Рис.23. Принципиальная электрическая схема логарифмического индикатора.

автором самостоятельно, она не претендует на оригинальность, так как проведенный патентный поиск показал, что подобные схемы известны. Тем не менее, как сама схема индикатора, так и ее реализация на отечественной элементной базе представляет, по мнению автора, определенный интерес.

Работает логарифмический индикатор следующим образом. На вход индикатора поступает сигнал с выхода триггера Шмидта схемы металлоискателя на биениях (см. рис.22). Этот сигнал является входным для двоичных счетчиков D5.1-D5.2 (нумерация продолжает нумерацию по схеме рис.22). Указанные счетчики периодически обнуляются по сигналу высокого уровня вспомогательного генератора на триггере Шмидта D3.3 с частотой около 10(Гц). По переднему фронту сигнала вспомогательного генератора происходит также запись состояния счетчиков в параллельные четырехразрядные регистры D6 и D7. Таким образом, на выходах регистров D6 и D7 присутствует цифровой код частоты сигнала биений. Преобразовать этот код в логарифмическую шкалу возможно достаточно просто (и в этом "изюминка" данной схемы), если зажигание соответствующего светодиода шкалы поставить в соответствие появлению единицы в определенном разряде кода частоты при всех нулях в более старших разрядах кода.

Очевидно, что данную задачу должна выполнять комбинационная схема. Самая простая реализация такой схемы представляет собой периодически повторяющиеся звенья из элементов "ИЛИ". В практической схеме использованы элементы "ИЛИ-НЕ" D8, D9 совместно с мощными буферными инверторами D10, D11. На выходе схемы получается логический сигнал управления светодиодами шкалы в виде

"волны единиц". С точки зрения экономии батареи питания, конечно, более целесообразно организовать шкалу не в виде светящегося столбика светодиодов (до 8 шт. одновременно), а в виде перемещающейся точки из одного светящегося светодиода. Для этого светодиоды индикаторной линейки включены между выходами комбинационной схемы.

Для очень низких значений частоты, по-прежнему, более пригодна индикация в виде мигающего светодиода. В предлагаемой схеме он совмещен с началом светодиодной шкалы и гаснет, как только загорится следующий ее сегмент. Выбором элементов R8, C5 можно менять значение частоты вспомогательного генератора, изменяя таким образом предел шкалы по частоте.

Типы деталей и конструкция

Типы используемых **микросхем** приведены в таблице.

Таблица.

Обозначение по рис.23	***Тип***	***Функциональное назначение***
D3	К561ТЛ1	4 эл-та 2И-НЕ с триг. Шмидта на входах
D5	К561ИЕ10	2 двоичн. счетчика
D6, D7	К561ИР9	4-х разрядный регистр
D8, D9	К561ЛЕ5	4 эл-та 2ИЛИ-НЕ
D10, D11	К561ЛН2	6 инверторов

Вместо микросхем серии К561 возможно использование микросхем серии К1561. Можно попытаться применить некоторые микросхемы серии К176. Разводка цепей пита-

ния и нумерация выводов для микросхем D8-D11 для простоты условно не показана.

Светодиоды VD2- VD9 типа АЛ336 или аналогичные с высоким КПД. Их токозадающие резисторы R9-R17 имеют одинаковый номинал 1,0...5,1(кОм). Чем меньше сопротивление указанных резисторов, тем ярче будут светиться светодиоды. Однако, при этом может не хватить нагрузочной способности микросхем К561ЛН2. В данном случае рекомендуется использовать параллельно включенные выходные инверторы в схеме индикатора. Удобнее всего организовать это параллельное включение путем простого припаивания дополнительных однотипных корпусов микросхем (до 4-х штук) поверх каждой из установленных в схему микросхем К561ЛН2.

Дальнейшие усовершенствования с индикатором частоты

Предложенный выше логарифмический индикатор частоты является по сути некоторой разновидностью цифрового частотомера. Перспективное направление усовершенствования металлоискателей на биениях, подсказанное одним из читателей книги, связано с использованием частотомера для регистрации небольших отклонений частоты. Если идти в данном направлении, то общая схема предложенного металлоискателя на биениях претерпит существенные изменения. Отпадает надобность в формировании разностного сигнала двух частот. Достаточно от схемы (рис. 22) оставить только измерительный генератор, выходной сигнал которого подавать на вход логарифмического индикатора. В данном случае индикатор оценивает значение

младших разрядов двоичного кода частоты измерительного генератора.

Важная особенность данного способа построения металлоискателя на биениях заключается в отсутствии опорного генератора, частота которого близка к частоте измерительного генератора. Иными словами, в гораздо меньшей степени проявляется явление паразитной автосинхронизации. Следовательно, можно повысить чувствительность прибора.

Определенным неудобством металлоискателей на биениях является постоянная необходимость подстройки измерительного генератора вследствие изменения параметров датчика и влияния других дестабилизирующих факторов. Следующим прогрессивным усовершенствованием рассматриваемых приборов может являться применение системы медленной автоматической подстройки частоты (АПЧ). АПЧ должна быть настолько медленной, чтобы быстрые изменения частоты измерительного генератора, вызванные движением датчика относительно мишени, приводили к появлению полезного сигнала на индикаторе. Медленный же температурный дрейф частоты данной системой АПЧ должен полностью компенсироваться. Описание принципов построения систем АПЧ выходит за рамки настоящей книги, поэтому данный вопрос предлагается заинтересованному читателю для самостоятельного изучения.

Трансформаторный датчик

Идея трансформаторного датчика для металлоискателей проста и изящна. Она известна давно и возникла из-за стремления упростить конструкцию катушки датчика металлоискателя. Обычным недостатком типового датчика

металлоискателя любой конструкции является большое (более 100) количество витков катушки. Вследствие этого получается недостаточная жесткость конструкции датчика, что требует принятия специальных мер типа дополнительных каркасов, заливки эпоксидной смолой и т.д. Кроме того, паразитная емкость такой катушки велика и для устранения ложных сигналов из-за емкостной связи катушки (катушек) с землей и телом оператора обязательно экранирование обмоток.

Путь устранения перечисленных недостатков прост и очевиден - необходимо использовать катушку, состоящую из минимального количества витков - **из одного витка**! Естественно, "в лоб" такое решение не проходит, так как ничтожная индуктивность одного витка потребовала бы гигантских по величине емкости конденсаторов колебательных контуров, генераторов сигналов с огромным выходным током и специальных ухищрений по обеспечению высокой добротности. И здесь самое время вспомнить о существовании устройства, предназначенного для согласования импедансов, для преобразования переменных сигналов большого напряжения с малым током в сигналы малого напряжения с большим током и наоборот - **о трансформаторе**.

В самом деле, возьмем трансформатор с коэффициентом трансформации около сотни и подключим его понижающую обмотку к одному витку, являющемуся датчиком металлоискателя, а повышающую обмотку - в схему металлоискателя вместо катушки индуктивности. Конструктивно один виток такого трансформаторного датчика может быть выполнен самыми различными способами. Например, он может представлять собой кольцо из медного или алюми-

ниевого одножильного провода сечением 6-10 мм^2 для меди и 10-35 мм^2 для алюминия. Удобны для использования внутренние жилы силовых кабелей. Можно для уменьшения массы и увеличения жесткости изготовить виток из металлической трубки. Возможно изготовление витка из фольги путем наклейки на листовой материал и даже из обычного фольгированного стеклотекстолита. В любом удобном месте виток заземляется путем подключения к общей шине прибора, чем обеспечивается компенсация паразитных емкостных связей. Влияние этих связей при данной конструкции датчика на несколько порядков меньше ввиду меньшего значения модуля полного сопротивления одного витка.

Трансформаторный датчик позволяет реализовать складную конструкцию компактного металлоискателя на биениях. Ее эскиз изображен на рис.24.

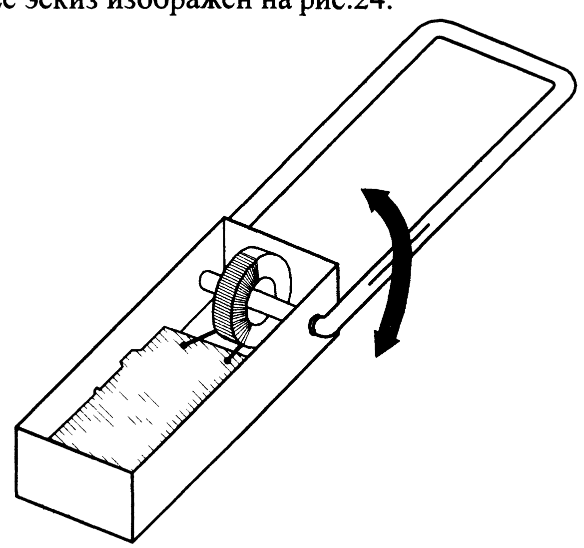


Рис.24. Конструкция металлоискателя на биениях со складывающейся рамкой датчика.

Трансформатор датчика выполнен на тороидальном сердечнике, установленном непосредственно на плате металлоискателя, размещенной в пластмассовом корпусе. Понижающая обмотка трансформатора и виток датчика конструктивно представляют собой единое целое в виде прямоугольной рамки из медного изолированного одножильного провода сечением 6 мм^2, замкнутого с помощью пайки. Указанная рамка имеет возможность вращаться. В сложенном положении она расположена по периметру корпуса прибора и не занимает лишнего места. В рабочем положении она разворачивается на 180°. Для того, чтобы рамка фиксировалась в установленном положении, используются уплотняющие втулки из резины.

Сечение проводника, из которого изготовлен виток трансформаторного датчика, должно быть не меньше, чем суммарное сечение всех витков, составляющих обычную катушку датчика металлоискателя. Это необходимо не только для придания конструкции необходимой прочности и жесткости, но и для того, чтобы получить не слишком низкую добротность у колебательного контура с таким трансформаторным аналогом катушки индуктивности (кстати, при использовании такого витка в качестве излучающей катушки, ток в нем может достигать десятков ампер!). По той же причине, необходим должный выбор сечения провода понижающей обмотки трансформатора. Он может иметь меньшее сечение, чем сечение проводника витка, но его омическое сопротивление должно быть не больше омического сопротивления витка.

Для уменьшения потерь за счет омического сопротивления необходимо очень тщательно выполнить соединение

витка с понижающей обмоткой трансформатора. Рекомендуемый способ соединения - пайка (для медного витка) и сварка в среде инертного газа (для алюминиевого).

К трансформатору предъявляются следующие требования. Во-первых, он должен работать с малыми потерями на требуемой частоте. На практике это означает, что его сердечник должен быть сделан из низкочастотного феррита. Во-вторых, его обмотки не должны вносить заметного вклада в импеданс датчика. На практике это означает, что индуктивность понижающей обмотки должна быть заметно больше индуктивности витка. Для тороидальных ферритовых сердечников с магнитной проницаемостью μ=2000 и диаметром более 30(мм) это справедливо даже для одного витка понижающей обмотки. В-третьих, коэффициент трансформации должен быть таким, чтобы индуктивность повышающей обмотки при подключенном к понижающей обмотке витке датчика была бы приблизительно такой же, как и у обычной катушки типового датчика.

К сожалению, преимущества трансформаторного датчика заметно превосходят его недостатки только для металлоискателей на биениях. Для более чувствительных приборов такой датчик неприменим из-за достаточно высокой чувствительности к механическим деформациям, что приводит к ложным сигналам, появляющимся при движении. Вот почему трансформаторный датчик рассматривается только в главе, посвященной металлоискателю на биениях.

6.3 Однокатушечный индукционный металлоискатель

Предлагаемый металлоискатель индукционного типа универсален. Его датчик прост по конструкции и может быть изготовлен диаметром 0,1-1(м). Приблизительно пропорционально диаметру будет изменяться размер обнаруживаемых объектов и расстояние, на котором металлоискатель эти объекты обнаруживает. Для стандартного датчика диаметром 180(мм) глубина обнаружения составляет:

- монета ∅ 25(мм) - 0,15(м)
- пистолет - 0,4(м)
- каска - 0,6(м)

Прибор снабжен простейшим дискриминатором, который позволяет отфильтровать сигналы от небольших железных предметов, если последние не представляют интереса для поиска.

Структурная схема

Структурная схема изображена на рис.25. Она состоит из нескольких функциональных блоков. **Кварцевый генератор** является источником прямоугольных импульсов, из которых в дальнейшем формируется сигнал, поступающий на катушку датчика. Сигнал генератора делится по частоте на 4 с помощью **кольцевого счетчика** на триггерах. По кольцевой схеме счетчик выполнен для того, чтобы на его выходах можно было сформировать два сигнала Ф1 и Ф2,

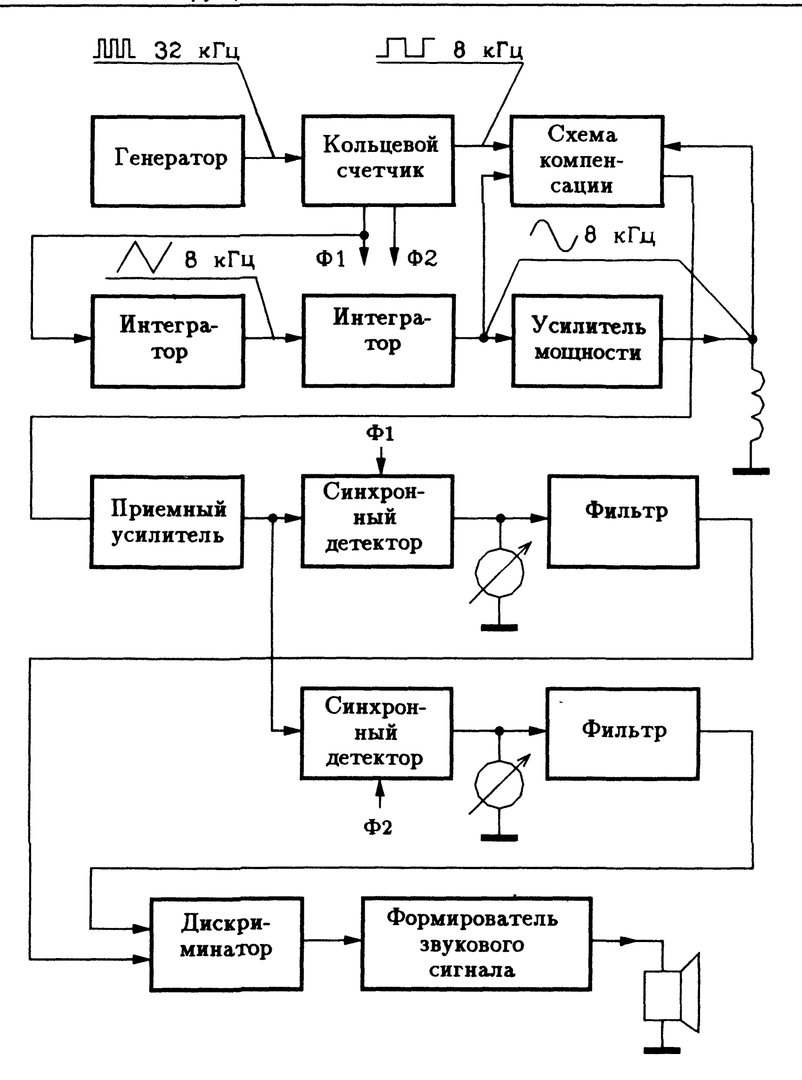


Рис.25. Структурная схема индукционного металлоискателя.

сдвинутые друг относительно друга по фазе на 90°, что необходимо для построения схемы дискриминатора. Прямоугольный сигнал (меандр) подается на вход **первого интегратора,** на выходе которого получается кусочно-линейное пилообразное напряжение. **Второй интегратор** делает из «пилы» сигнал, очень близко приближающийся по форме к синусоидальному и состоящий из полуволн параболической формы. Этот сигнал стабильной амплитуды поступает на **усилитель мощности**, который представляет собой преобразователь «напряжение-ток», нагруженный на катушку датчика. Напряжение датчика уже не является стабильным по амплитуде, так как зависит от сигнала, отраженного от металлических объектов. Абсолютная величина этой нестабильности весьма мала. Чтобы увеличить ее, то есть выделить полезный сигнал, **в схеме компенсации** происходит вычитание выходного напряжения второго интегратора из напряжения на катушке датчика.



Здесь сознательно опускаются многие детали построения усилителя мощности, схемы компенсации и способа включения катушки датчика, делающие это описание более простым для понимания принципа работы прибора, хотя и не вполне корректным. Подробнее - см. описание принципиальной схемы.

Со схемы компенсации полезный сигнал поступает на **приемный усилитель**, где происходит его усиление по напряжению. **Синхронные детекторы** преобразуют полезный сигнал в медленно меняющиеся напряжения, величина и полярность которых зависит от сдвига отраженного сигнала по фазе относительно сигнала напряжения катушки датчика.

Иными словами, выходные сигналы синхронных детекторов являются не чем иным, как компонентами ортогонального разложения вектора полезного отраженного сигнала по базису векторов основных гармоник опорных сигналов Ф1 *и* Ф2.

В приемный усилитель неизбежно проникает часть бесполезного сигнала, не скомпенсированного схемой компенсации ввиду ее неидеальности. На выходах синхронных детекторов эта часть сигнала преобразуется в постоянные составляющие. **Фильтры** высокой частоты (ФВЧ) отсекают бесполезные постоянные составляющие, пропуская и усиливая только изменяющиеся компоненты сигналов, связанные с движением датчика относительно металлических предметов. **Дискриминатор** выдает управляющий сигнал для запуска **формирователя звукового сигнала** только при определенном сочетании полярностей сигналов на выходе фильтров, что исключает срабатывание звуковой индикации от мелких железных предметов, ржавчины и некоторых минералов.

Принципиальная схема

Принципиальная схема разработанного автором индукционного металлоискателя изображена на рис.26 - входная часть, рис.27 - синхронные детекторы и фильтры, рис.28 - дискриминатор и формирователь звукового сигнала, рис.29 - схема внешних соединений.

Кварцевый генератор (рис.26)

Собран на инверторах D1.1-D1.3. Частота генератора стабилизирована кварцевым или пьезокерамическим резо-

натором Q с резонансной частотой 2^{15}(Гц) ≈ 32(кГц) ("часовой кварц"). Цепочка R1C2 препятствует возбуждению генератора на высших гармониках. Через резистор R2 замыкается цепь ООС, через резонатор Q - цепь ПОС. Генератор отличается простотой, малым потребляемым током, надежно работает при напряжении питания 3-15(В), не содержит подстроечных элементов и чересчур высокоомных резисторов. Выходная частота генератора - около 32(кГц).

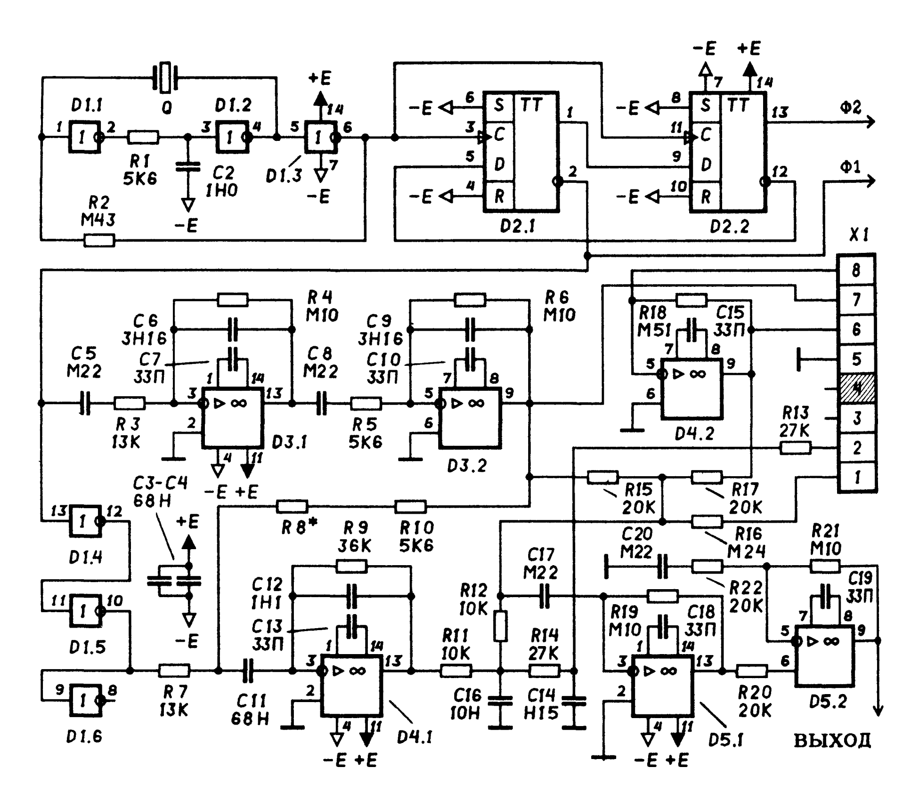


Рис.26. Принципиальная электрическая схема индукционного металлоискателя. Входная часть.

Кольцевой счетчик (рис.26)

Кольцевой счетчик выполняет две функции. Во-первых, он делит частоту генератора на 4, до частоты 8(кГц) (рекомендации по выбору частоты - см. гл.1.1). Во-вторых, он формирует два опорных сигнала для синхронных детекторов, сдвинутых друг относительно друга на 90° по фазе.

Кольцевой счетчик представляет собой два D-триггера D2.1 и D2.2, замкнутые в кольцо с инверсией сигнала по кольцу. Тактовый сигнал - общий для обоих триггеров. Любой выходной сигнал первого триггера D2.1 имеет сдвиг по фазе на плюс-минус четверть периода (т.е. на 90°) относительно любого выходного сигнала второго триггера D2.2.

Интеграторы (рис.26)

Собраны на ОУ D3.1 и D3.2. Их постоянные времени определяются цепочками R3C6 и R5C9. Режим по постоянному току поддерживается резисторами R4, R6. Разделительные конденсаторы C5, C8 препятствуют накоплению статической погрешности, которая может вывести интеграторы из режима ввиду их большого усиления по постоянному току. Номиналы элементов, входящих в схемы интеграторов выбраны так, чтобы суммарный сдвиг фазы обоих интеграторов на рабочей частоте 8(кГц) составлял ровно 180° с учетом как основных RC-цепочек, так и с учетом влияния разделительных цепей и конечного быстродействия ОУ при выбранной коррекции. Цепи коррекции ОУ интеграторов - стандартные и состоят из конденсаторов емкостью 33(пФ).

Усилитель мощности (рис.26)

Собран на ОУ D4.2 с параллельной ООС по напряжению. Термокомпенсированный токозадающий элемент, состоящий из резисторов R71, R72 и терморезистора R73 (см. рис.29), включен между выходом второго интегратора и инвертирующим входом ОУ D4.2. Нагрузка усилителя, являющаяся одновременно элементом ООС, представляет собой колебательный контур, состоящий из катушки датчика L1 и конденсатора C61.



В нумерации резисторов и конденсаторов по схема рис.26 - рис.29 пропущены некоторые позиции, чт связано с многочисленными модификациями схем индукционного металлоискателя и не являетс ошибкой.

Колебательный контур настроен в резонанс на четверть частоты кварцевого резонатора задающего генератора, то есть на частоту подаваемого на него сигнала. Модуль полного сопротивления колебательного контура на резонансной частоте составляет около 4(кОм). Параметры катушки датчика L1 таковы: число витков - 100, марка провода - ПЭЛ, ПЭВ, ПЭЛШО 0,3-0,5, средний диаметр и диаметр оправки для намотки - 165(мм). Катушка имеет экран из алюминиевой фольги, подключенный к общей шине прибора. Для предотвращения образования короткозамкнутого витка, от экрана свободна небольшая часть, около 1(см), длины окружности обмотки катушки.

Элементы датчика R71 - R73 и L1, C61 подобраны так, чтобы: во-первых, были равны по величине напряжения на

входе и на выходе усилителя мощности. Для этого необходимо, чтобы сопротивление цепочки R71 - R73 было равно модулю полного сопротивления колебательного контура L1, C61 на резонансной частоте 8(кГц), а точнее, 8192(Гц). Этот модуль сопротивления составляет, как уже говорилось, около 4(кОм) и его значение должно уточняться для конкретного датчика. Во-вторых, температурный коэффициент сопротивления (ТКС) цепочки R71 - R73 должен совпадать по величине и по знаку с ТКС модуля полного сопротивления колебательного контура L1, C61 на резонансной частоте, что достигается: грубо - путем выбора номинала терморезистора R73, а точно - выбором соотношения R71 - R72 и достигается экспериментально при настройке.



Температурная нестабильность колебательного контура связана с нестабильностью, в первую очередь, омического сопротивления медного провода катушки. При ***росте*** *температуры это сопротивление возрастает, что увеличивает потери в контуре и уменьшает его добротность. Поэтому модуль его полного сопротивления на резонансной частоте* ***уменьшается****.*

Резистор R18 не играет в схеме принципиальной роли и служит для поддержания ОУ D4.2 в режиме при отключенной ответной части разъема X1. Цепь коррекции ОУ D4.2 - стандартная и состоит из конденсатора емкостью 33(пФ).

Схема компенсации (рис.26)

Ее основные элементы, которые реализуют вычитание выходного напряжения второго интегратора из напряжения

катушки датчика - это резисторы R15, R17 с одинаковой величиной сопротивления. С их общей точки соединения полезный сигнал поступает на приемный усилитель. Дополнительные элементы, благодаря которым достигается ручная настройка и подстройка прибора - это потенциометры R74, R75 (рис. 29). С этих потенциометров можно снять сигнал, лежащий в диапазоне [−1, +1] от сигнала напряжения датчика (или практически равного ему по амплитуде выходного сигнала второго интегратора). Регулировкой указанных потенциометров достигается минимальный сигнал на входе приемного усилителя и нулевые сигналы на выходах синхронных детекторов.

Через резистор R16 часть выходного сигнала одного потенциометра подмешивается в схему компенсации непосредственно, а с помощью элементов R11-R14, C14-C16 - со сдвигом в 90^{o} с выхода другого потенциометра.

ОУ D4.1 является основой компенсатора высших гармоник схемы компенсации. На нем реализован двойной интегратор с инверсией, постоянные времени которого задаются обычной для интегратора цепочкой параллельной ООС по напряжению R7C12, а также конденсатором C16 со всеми окружающими его резисторами. На вход двойного интегратора поступает меандр с частотой 8(кГц) с выхода элемента D1.5. Через резисторы R8, R10 из меандра вычитается основная гармоника. Суммарное сопротивление этих резисторов составляет около 10(кОм) и подбирается экспериментально при настройке по минимуму сигнала на выходе ОУ D4.1. Оставшиеся на выходе двойного интегратора высшие гармоники поступают на схему компенсации в той же амплитуде, что и высшие гармоники, проникающие через основные интеграторы. Соотношение фаз таково, что на

входе приемного усилителя высшие гармоники из указанных двух источников практически компенсируются.

! *Выход усилителя мощности не является дополнительным источником высших гармоник, так как высокая добротность колебательного контура (около 30) обеспечивает высокую степень подавления высших гармоник.*

! *Высшие гармоники, в первом приближении, не влияют на нормальную работу прибора, даже если они многократно превосходят полезный отраженный сигнал. Тем не менее, их необходимо уменьшать, чтобы приемный усилитель не попал в режим ограничения, когда верхушки "коктейля" из высших гармоник на его выходе начинают обрезаться ввиду конечного значения напряжений питания ОУ. Такой переход усилителя в нелинейный режим резко снижает коэффициент усиления по полезному сигналу.*

! *Элементы* D1.4 *и* D1.5 *предотвращают образование кольца паразитной ПОС через резистор* R7 *ввиду ненулевого значения выходного сопротивления выхода триггера* D2.1. *Попытка подключить резистор* R7 *напрямую к триггеру приводит к самовозбуждению схемы компенсации на низкой частоте.*

Цепь коррекции ОУ D4.2 - стандартная и состоит из конденсатора емкостью 33(пФ).

Приемный усилитель (рис.26)

Приемный усилитель - двухкаскадный. Его первый каскад выполнен на ОУ D5.1 с параллельной ООС по напряжению. Коэффициент усиления по полезному сигналу составляет: $K_U = - R19/R17 \approx -5$. Второй каскад выполнен на ОУ D5.2 с последовательной ООС по напряжению. Коэффициент усиления $K_U = R21/R22 + 1 = 6$. Постоянные времени разделительных цепочек выбраны такими, чтобы на рабочей частоте создаваемый ими набег по фазе компенсировал запаздывание сигнала, обусловленное конечным быстродействием ОУ. Цепи коррекции ОУ D5.1 и D5.2 - стандартные и состоят из конденсаторов емкостью 33(пФ).

Синхронные детекторы (рис.27)

Синхронные детекторы однотипны и имеют идентичные схемы, поэтому будет рассмотрен только один из них, верхний по схеме. Синхронный детектор состоит из балансного модулятора, интегрирующей цепочки и усилителя постоянных сигналов (УПС). Балансный модулятор реализован на основе интегральной сборки аналоговых ключей D6.1 на полевых транзисторах. С частотой 8(кГц) аналоговые ключи поочередно замыкают на общую шину выходы “треугольника” интегрирующей цепочки, состоящей из резисторов R23 и R24 и конденсатора C23. Сигнал опорной частоты поступает на балансный модулятор с одного из выходов кольцевого счетчика. Этот сигнал является управляющим для аналоговых ключей.

Сигнал на вход “треугольника” интегрирующей цепочки поступает через разделительный конденсатор C21 с выхода приемного усилителя.

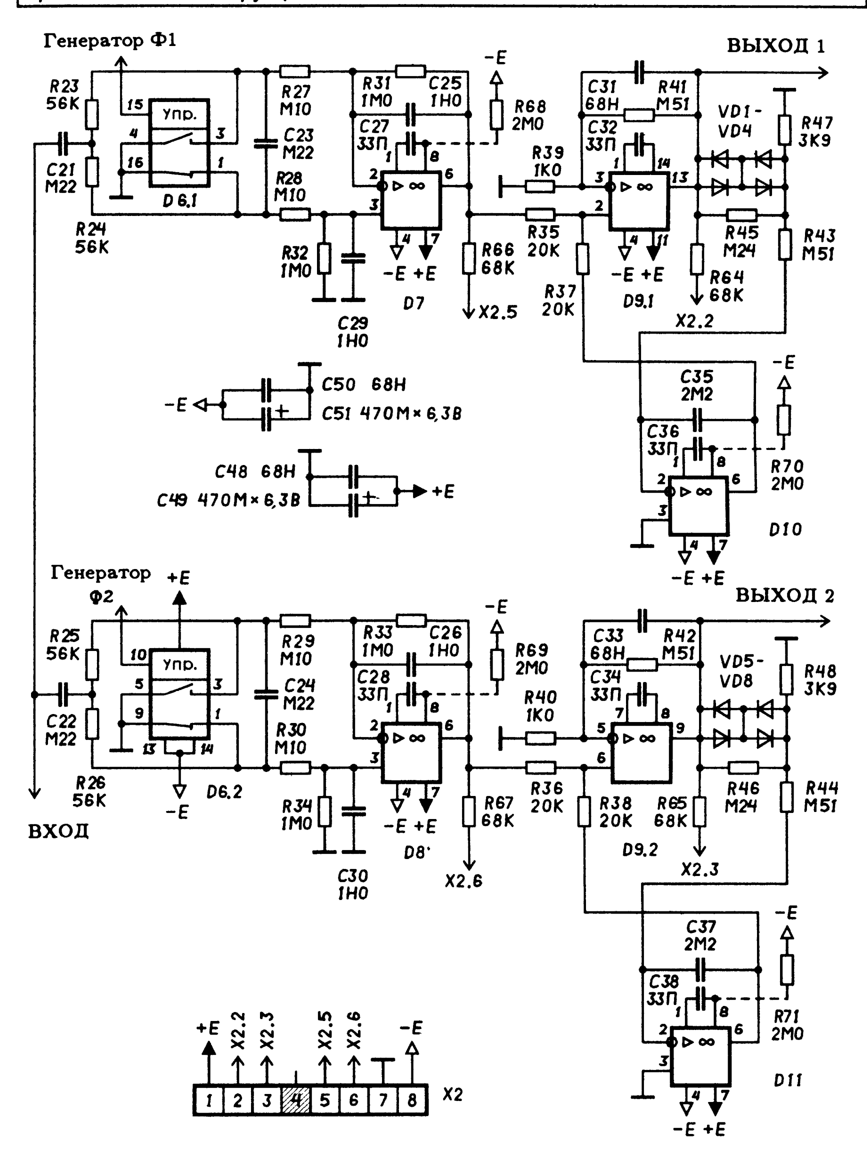


Рис. 27. Принципиальная электрическая схема индукционного металлоискателя. Синхронные детекторы и фильтры.

Постоянная времени интегрирующей цепочки τ ≈ ≈R23·C23 = R24·C23. Более подробно о схеме синхронного детектора можно прочитать в главе 4.1.

ОУ УПС D7 имеет стандартную цепь коррекции, состоящую из конденсатора емкостью 33(пФ) для ОУ типа К140УД1408. В случае использования ОУ типа К140УД12 (с внутренней коррекцией) конденсатор коррекции не нужен, однако необходим добавочный токозадающий резистор R68 (показан пунктиром).

Фильтры (рис.27)

Фильтры однотипны и имеют идентичные схемы, поэтому будет рассмотрен только один из них, верхний по схеме.

Как уже указывалось выше, по типу фильтр относится к ФВЧ. Кроме того, на него в схеме возложена роль дальнейшего усиления выпрямленного синхронным детектором сигнала. При реализации подобного рода фильтров в металлоискателях возникает специфическая проблема. Суть ее заключается в следующем. Полезные сигналы, поступающие с выходов синхронных детекторов являются сравнительно медленными, поэтому нижняя граничная частота ФВЧ обычно лежит в диапазоне 2-10(Гц). Динамический диапазон сигналов по амплитуде очень велик, он может достигать 60(дБ) на входе фильтра. Это означает, что фильтр очень часто будет работать в нелинейном режиме перегрузки по амплитуде. Выход из нелинейного режима после воздействия таких больших перегрузок по амплитуде для линейного ФВЧ может затянуться на десятки секунд (как и время готовности прибора после включения пита-

ния), что делает обычные схемы фильтров непригодными для практики.

Для разрешения указанной проблемы идут на всевозможные ухищрения. Наиболее часто фильтр разбивают на три-четыре каскада со сравнительно небольшим усилением и более-менее равномерным распределением времязадающих цепочек по каскадам. Такое решение ускоряет выход устройства в нормальный режим после перегрузок. Однако, для его реализации требуется большое количество ОУ.

В предлагаемой схеме ФВЧ - однокаскадный. Для уменьшения последствий перегрузок он выполнен нелинейным. Его постоянная времени для больших сигналов приблизительно в 60 раз меньше, чем для сигналов малой амплитуды.

Схемотехнически, ФВЧ представляет собой усилитель напряжения на ОУ D9.1, охваченный цепью ООС через интегратор на ОУ D10. Для малого сигнала, частотные и временные свойства ФВЧ определяются делителем из резисторов R45, R47, постоянной времени интегратора R43·C35 и коэффициентом усиления усилителя напряжения на ОУ D9.1. При увеличении выходного напряжения ФВЧ, после определенного порога начинает сказываться влияние цепочки диодов VD1-VD4, которые и являются основным источником нелинейности. Указанная цепочка на больших сигналах шунтирует резистор R45, увеличивая тем самым глубину ООС в ФВЧ и уменьшая постоянную времени ФВЧ.

Коэффициент усиления по полезному сигналу составляет около 200. Для подавления высокочастотных помех в схеме фильтра имеется конденсатор C31. ОУ усилителя напряжения D9.1 имеет стандартную цепь коррекции, состоящую из конденсатора емкостью 33(пФ). ОУ интегратора

D10 имеет цепь коррекции, состоящую из конденсатора емкостью 33(пФ) для ОУ типа К140УД1408. В случае использования ОУ типа К140УД12 (с внутренней коррекцией) конденсатор коррекции не нужен, однако необходим добавочный токозадающий резистор R70 (показан пунктиром).

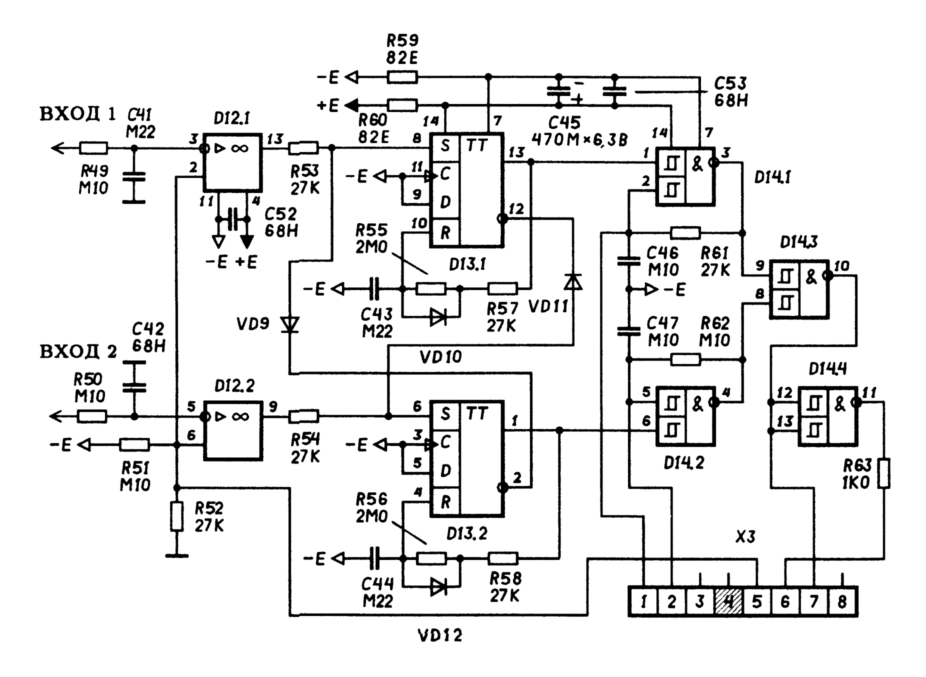


Рис.28. Принципиальная электрическая схема индукционного металлоискателя. Дискриминатор и формирователь звукового сигнала

Дискриминатор (рис.28)

Дискриминатор состоит из компараторов на ОУ D12.1, D12.2 и одновибраторов на триггерах D13.1, D13.2. При прохождении датчика металлоискателя над металлическим

предметом на выходах фильтров возникает полезный сигнал в виде двух полуволн напряжения противоположной полярности, следующих одна за другой одновременно на каждом выходе. Для небольших предметов из железа сигналы на выходах обоих фильтров будут синфазны: выходное напряжение "качнется" сначала в минус, а затем в плюс и вернется к нулю. Для неферромагнитных металлов и крупных железных предметов отклик будет другой: выходное напряжение только первого (верхнего по схеме фильтра) "качнется" сначала в минус, а затем в плюс. Реакция же на выходе второго фильтра будет противоположной: выходное напряжение "качнется" сначала в плюс, а затем в минус.

Таким образом, определив, полуволна какой полярности на выходе первого фильтра была первой по времени, можно определить, к какому типу относится обнаруженный предмет. Процесс принятия решения дискриминатором протекает следующим образом. Компараторы D12.1, D12.2 формируют на своих выходах прямоугольные импульсы положительной полярности при превышении (по модулю) амплитудой отрицательной полуволны выходного напряжения фильтра некоторого порога. Этот порог задается делителем R51, R52 и составляет около -1(В).

Выходные импульсы компараторов запускают один из одновибраторов на триггерах D13.1, D13.2. Одновременно одновибраторы запуститься не могут - перекрестная ОС через диоды VD9, VD11 блокирует запуск одновибратора, если другой уже запущен. Длительность импульсов на выходах одновибраторов составляет около 0,5(с) и это в несколько раз больше, чем длительность обоих всплесков полезного сигнала при быстром движении датчика. Поэтому вторые полуволны выходных сигналов фильтров уже не

влияют на решение дискриминатора - по первым всплескам полезного сигнала он запускает один из одновибраторов, другой при этом блокируется и такое состояние фиксируется на время 0,5(с).

Чтобы исключить срабатывание компараторов от помех, а также, чтобы задержать по времени выходной сигнал первого фильтра относительно второго, на входах компараторов установлены интегрирующие цепочки R49, C41 и R50, C42. Постоянная времени цепочки R49, C41 в несколько раз больше, поэтому при одновременном приходе двух отрицательных полуволн с выходов фильтров первым сработает компаратор D12.2 и запустится одновибратор на триггере D13.2, выдав управляющий сигнал ("ферро" - железо).

Формирователь звукового сигнала (рис.28)

Формирователь звукового сигнала состоит из двух идентичных управляемых генераторов звуковой частоты на триггерах Шмидта с логикой "И" на входе D14.1, D14.2. Запускается каждый генератор непосредственно выходным сигналом соответствующего одновибратора дискриминатора. Верхний генератор срабатывает по команде "металл" с выхода верхнего одновибратора - неферромагнитная мишень или крупный железный предмет - и выдает тональную посылку с частотой около 2(кГц). Нижний генератор срабатывает по команде "ферро" с выхода нижнего одновибратора - небольшие железные предметы - и выдает тональную посылку с частотой около 500(Гц). Длительности посылок равны длительности импульсов на выходах одновибраторов. Элементом D14.3 осуществляется смешивание сигналов двух тональных генераторов. Элемент D14.4, включен-

ный по схеме инвертора, предназначен для реализации мостовой схемы включения пьезоизлучателя. Резистор R63 ограничивает всплески потребляемого микросхемой D14 тока, вызванные емкостным характером импеданса пьезоизлучателя. Это является профилактической мерой по уменьшению влияния наводок по питанию и предотвращению возможного самовозбуждения усилительного тракта.

Схема внешних соединений (рис.29)

На схеме внешних соединений показаны элементы, не установленные на печатной плате прибора и подключаемые к ней с помощью электрических разъемов. К таким элементам относятся:

- потенциометры настройки и балансировки R74, R75,
- датчик с кабелем и разъемом подключения,
- защитные диоды по питанию VD13, VD14,
- переключатель режимов работы S1.1-S1.6,
- измерительные приборы W1, W2,
- батареи питания,
- пьезоизлучатель Y1.

Назначение перечисленных элементов, в основном, очевидно и не требует дополнительных пояснений.

Типы деталей и конструкция

Типы используемых **микросхем** приведены в таблице.

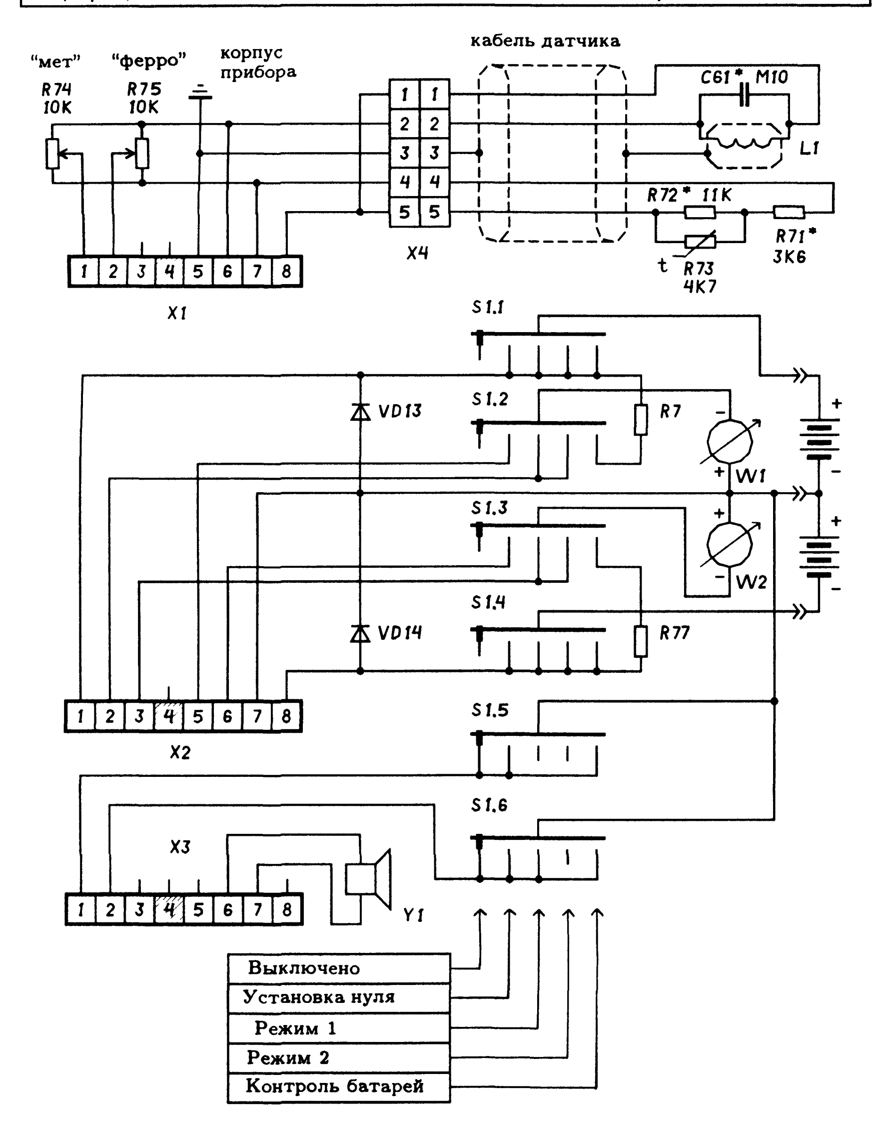


Рис.29. Принципиальная электрическая схема индукционного металлоискателя. Схема внешних соединений.

Таблица.

Обозначение по рис.26 - рис.28	***Тип***	***Функциональное назначение***
D1	К561ЛН2	6 инверторов
D2, D13	К561ТМ2	2 D-триггера
D3-D5, D9, D12	К157УД2	сдвоенный ОУ
D6	КР590КН4	аналоговые ключи
D7-D8, D10-D11	КР140УД1408	точный ОУ
D14	К561ТЛ1	4 эл-та 2И-НЕ с триггерами Шмидта на входе

Вместо микросхем серии К561 возможно использование микросхем серии К1561. Можно попытаться применить некоторые микросхемы серии К176.

Сдвоенные операционные усилители (ОУ) серии К157 можно заменить любыми сходными по параметрам одиночными ОУ общего назначения (с соответствующими изменениями в цоколевке и цепях коррекции), хотя применение сдвоенных ОУ удобнее (возрастает плотность монтажа). Желательно, чтобы применяемые типы ОУ не уступали рекомендуемым типам по быстродействию. Особенно это касается микросхем D3-D5.

ОУ синхронных детекторов и интеграторов ФВЧ по своим параметрам должны приближаться к прецизионным ОУ. Кроме типа, указанного в таблице, подойдут К140УД14, 140УД14. Возможно применение микромощных ОУ К140УД12, 140УД12, КР140УД1208 в соответствующей схеме включения.

К применяемым в схеме металлоискателя **резисторам** не предъявляется особых требований. Они лишь должны

иметь прочную и миниатюрную конструкцию и быть удобны для монтажа. С целью получения максимальной термостабильности следует испльзовать в схемах датчика, интеграторов и в схеме компенсации только металлопленочные резисторы. Номинал рассеиваемой мощности 0,125-0,25(Вт).

Терморезистор R73 должен иметь отрицательный ТКС и номинал около 4,7(кОм). Рекомендуемый тип - КМТ-17вт.

Потенциометры компенсации R74, R75 желательны многооборотные типа СП5-44 или с нониусной подстройкой типа СП5-35. Можно обойтись и обычными потенциометрами любых типов. В этом случае желательно их использовать два. Один - для грубой подстройки, номиналом 10(кОм), включенный в соответствии со схемой. Другой - для точной подстройки, включенный по схеме реостата в разрыв одного из крайних выводов основного потенциометра, номиналом 0,5-1(кОм).

Конденсаторы С45, С49, С51 - электролитические. Рекомендуемые типы - К50-29, К50-35, К53-1, К53-4 и др. малогабаритные. Остальные конденсаторы, за исключением конденсаторов колебательного контура датчика, - керамические типа К10-7 (до номинала 68(нФ)) и металлопленочные типа К73-17 (номиналы выше 68(нФ)).

Конденсатор контура С61 - особый. К нему предъявляются высокие требования по точности и термостабильности. Конденсатор С61 состоит из нескольких (5...10 шт.) конденсаторов, включенных в параллель. Настройка контура в резонанс осуществляется подбором количества конденсаторов и их номинала. Рекомендуемый тип конденсаторов К10-43. Их группа по термостабильности - МП0 (т.е. при-

близительно нулевой ТКЕ). Возможно применение прецизионных конденсаторов и других типов, например, К71-7. В конце концов, можно попытаться использовать старинные термостабильные слюдяные конденсаторы с серебряными обкладками типа КСО или какие-либо полистирольные конденсаторы.

Диоды VD1-VD12 типа КД521, КД522 или аналогичные кремниевые маломощные. В качестве диодов VD1-VD4 и VD5-VD8 удобно также использовать интегральные мостовые диодные сборки типа КД906. Выводы (+) и (–) диодной сборки спаиваются вместе, а выводами (~) она включается в схему вместо четырех диодов. Защитные диоды VD13-VD14 типов КД226, КД243, КД247 и другие малогабаритные на ток от 1(А).

Микроамперметры - любого типа на ток 100(мкА) с нулем посередине шкалы. Удобны малогабаритные микроамперметры, например, типа М4247.

Кварцевый резонатор Q - любой малогабаритный часовой кварц (аналогичные используются также в портативных электронных играх).

Переключатель режимов работы - любого типа малогабаритный поворотный галетный или кулачковый на 5 положений и 6 направлений. Батареи питания - типа 3R12 - по международному обозначению, "квадратные" - по нашему советско-российскому.

Пьезоизлучатель Y1 - может быть типа ЗП1...ЗП18. Хорошие результаты получаются при использовании пьезоизлучателей импортных телефонов (идут в огромных количествах "в отвал" при изготовлении телефонов с определителем номера).

Разъемы X1-X3 - стандартные, под пайку на печатную плату, с шагом выводов 2,5 (мм). Подобные разъемы широко применяются в настоящее время в телевизорах и другой бытовой технике. Разъем X4 должен быть наружного исполнения, с металлическими наружними деталями, желательно - с посеребряными или позолоченными контактами и герметичным выходом на кабель. Рекомендуемый тип - РС7 или РС10 с резьбовым или байонетным соединением.

Печатная плата

Конструкция прибора может быть достаточно произвольной. При ее разработке следует учесть рекомендации, изложенные ниже в параграфах, посвященных датчикам и конструкции корпусов. Основная часть элементов принципиальной схемы прибора размещается на печатной плате.

Печатная плата электронной части металлоискателя может быть изготовлена на основе готовой универсальной макетной печатной платы под DIP корпуса микросхем с шагом 2,5 мм. В этом случае монтаж ведут одножильным медным луженым проводом в изоляции. Такая конструкция удобна для экспериментальной работы.

Более аккуратная и надежная конструкция печатной платы получается при разводке дорожек традиционным способом под заданную схему. Ввиду ее сложности, в этом случае печатная плата должна быть с двухсторонней металлизацией. Использованная автором топология печатных дорожек приведена на рис.30 - сторона печатной платы со стороны установки деталей и на рис.31 - сторона печатной платы со стороны пайки. **Рисунок топологии приведен не в натуральную величину**. Для удобства изготовления

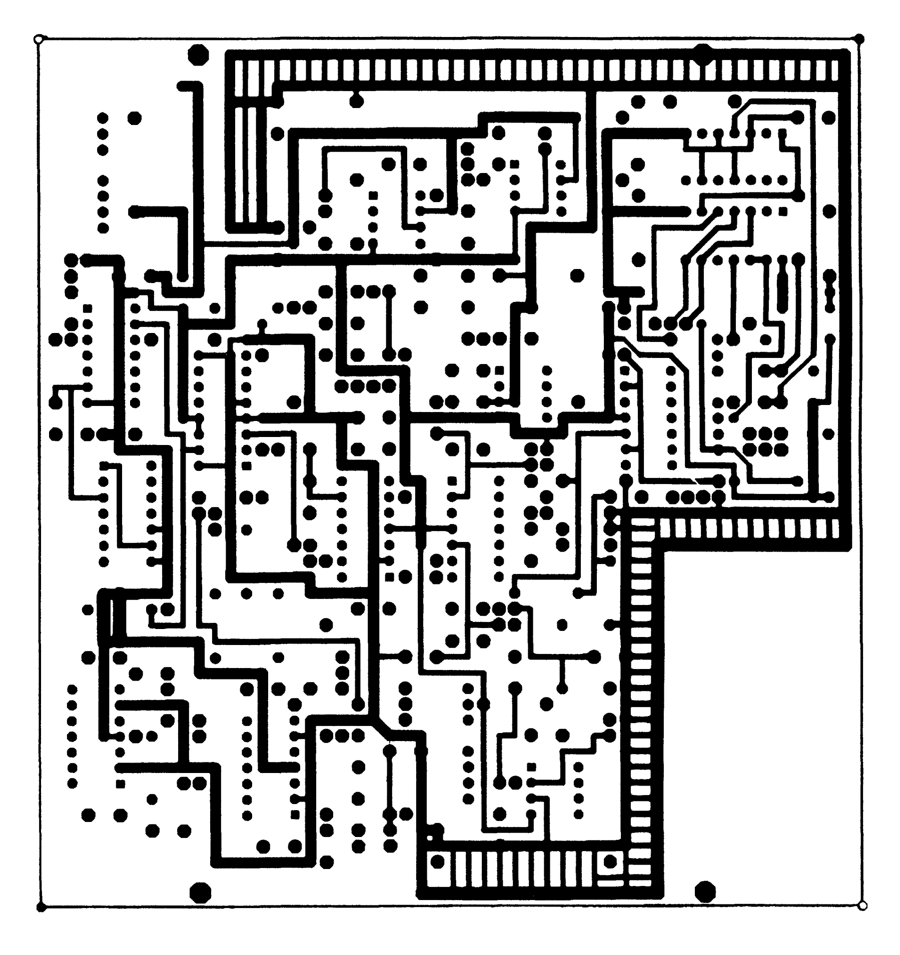


Рис.30. Топология дорожек печатной платы. Вид со стороны деталей.

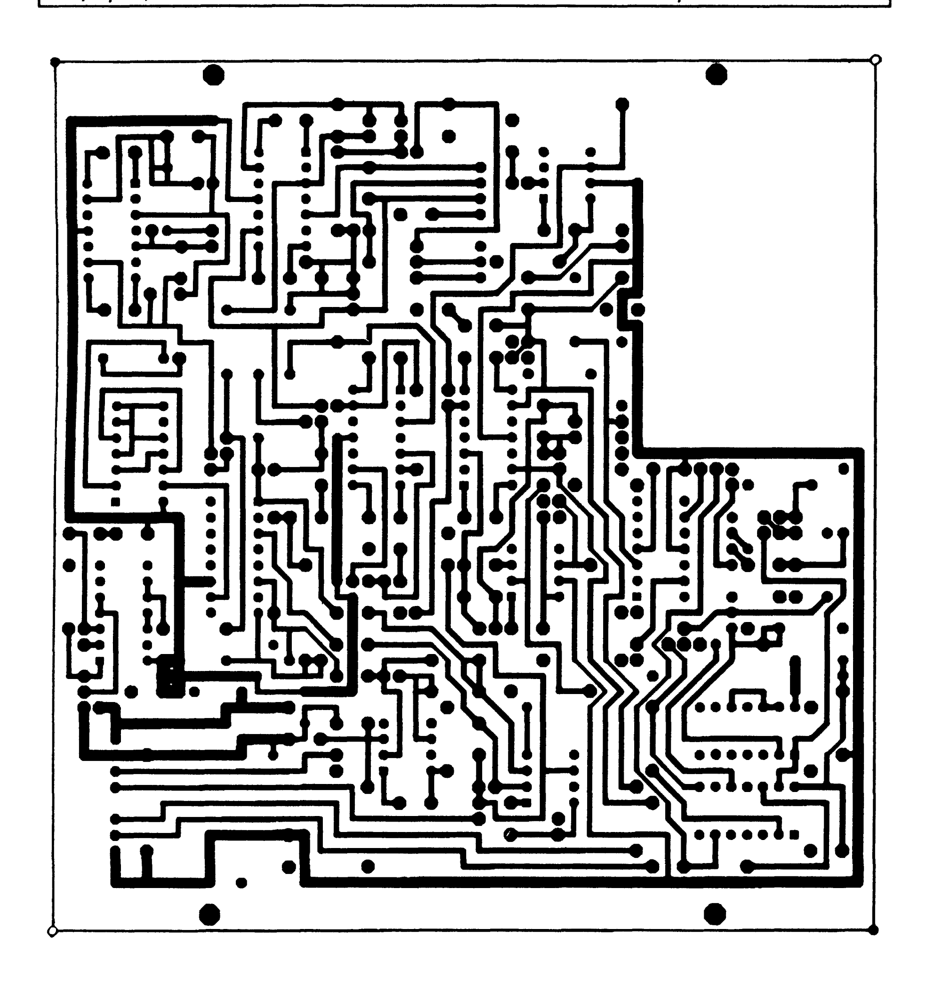


*Рис.31. Топология дорожек печатной платы.
Вид со стороны пайки.*

фотошаблона автор приводит размер печатной платы по внешней рамке рисунка - 130 х 144 (мм).

Особенности печатной платы:

- перемычки, без которых разводка печатной платы оказалась невозможной,
- общую шину, которая выполнена в виде сетчатого рисунка максимально возможной площади на плате,
- расположение отверстий по узлам сетки с шагом 2,5 (мм),- минимальное расстояние между центром отверстия и средней линией проводника или между средними линиями двух соседних проводников - 1,77 (мм),
- направление прокладки отдельных проводников печатной платы по углу кратно 45°.

Плотность проводников на печатной плате не слишком высока, что позволяет изготовить рисунок под травление в домашних условиях. Для этого рекомендуется использовать тонкий стеклянный рейсфедер или иглу шприца со спиленным острием в комплекте с пластиковой трубкой.

Рисунок обычно выполняют нитрокраской, кузбасслаком, цапон-лаком и т.п. красителями, разбавленными подходящими растворителями до удобной концентрации. Обычный реагент для травления стандартной печатной платы из стеклотекстолита с медной фольгой 35-50 (мкм) - водный раствор хлорного железа $FeCl_3$.

Расположение деталей на печатной плате приведено на рис.32 (микросхемы, разъемы, диоды и кварцевый резонатор), на рис.33 (резисторы и перемычки) и на рис.34 (конденсаторы).

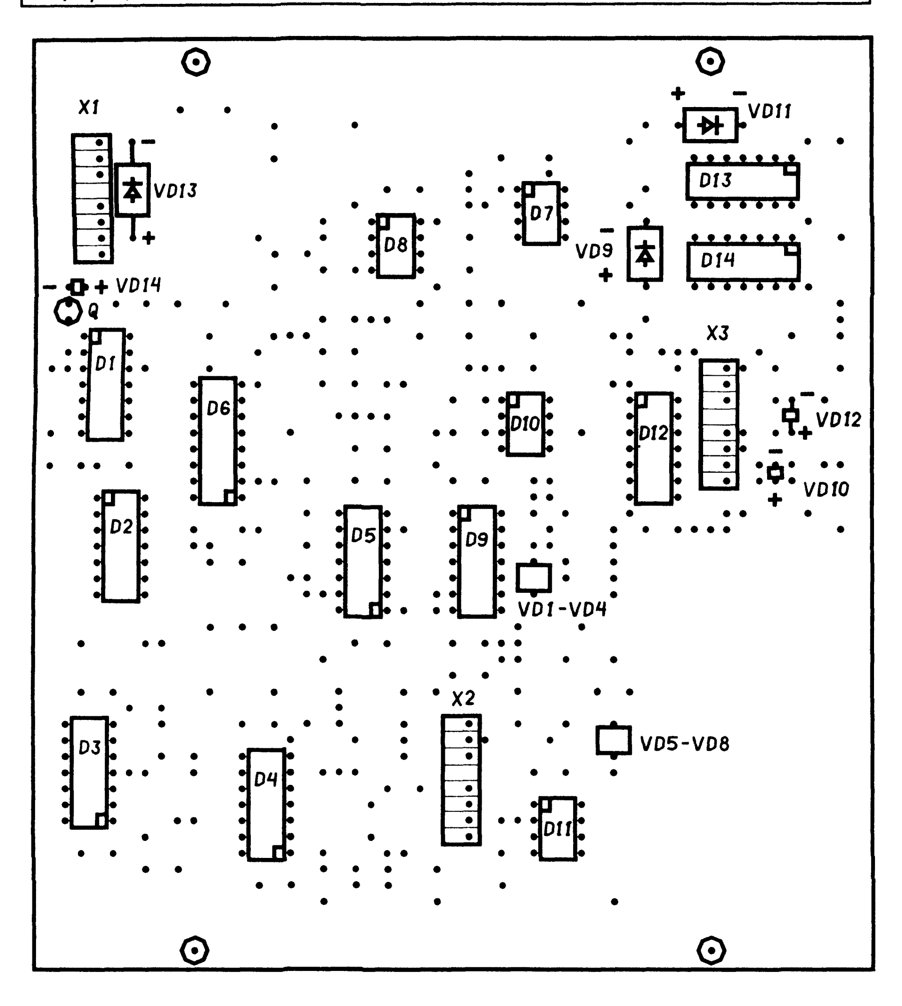


Рис.32. Расположение элементов на печатной плате. Разъемы, микросхемы, диоды и кварцевый резонатор.

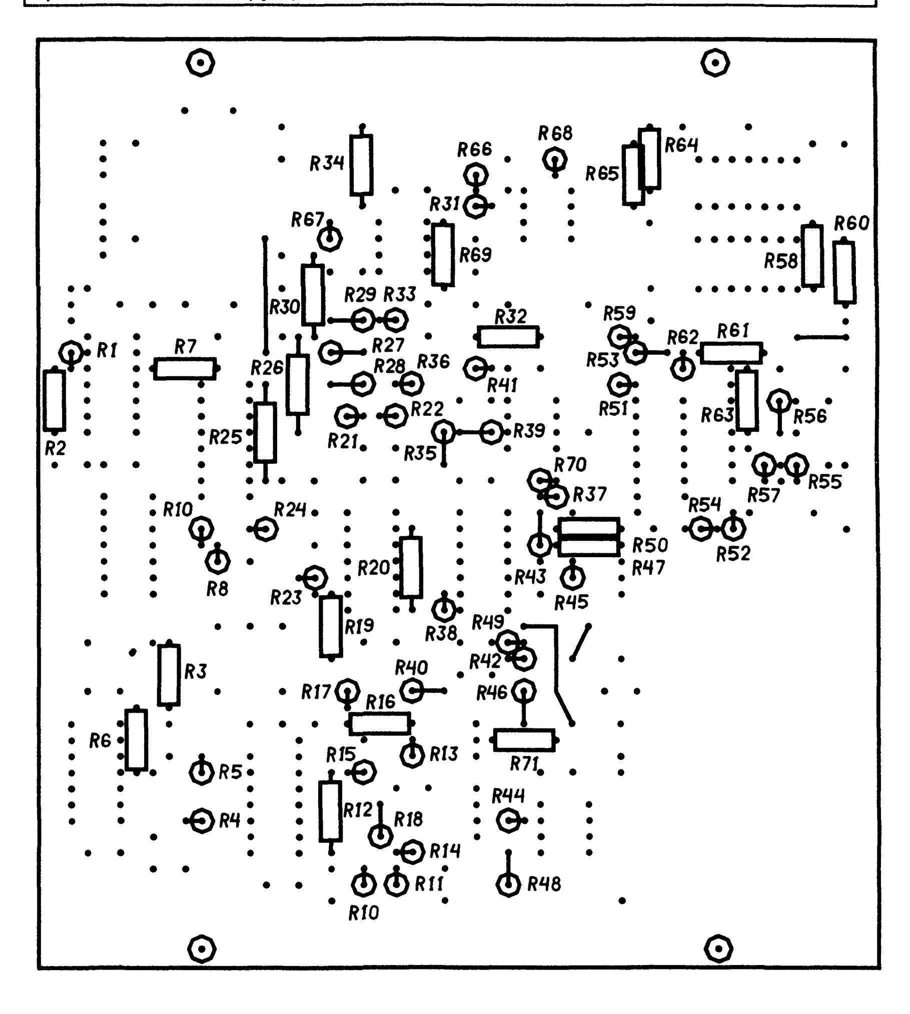


Рис.33. Расположение элементов на печатной плате. Резисторы.

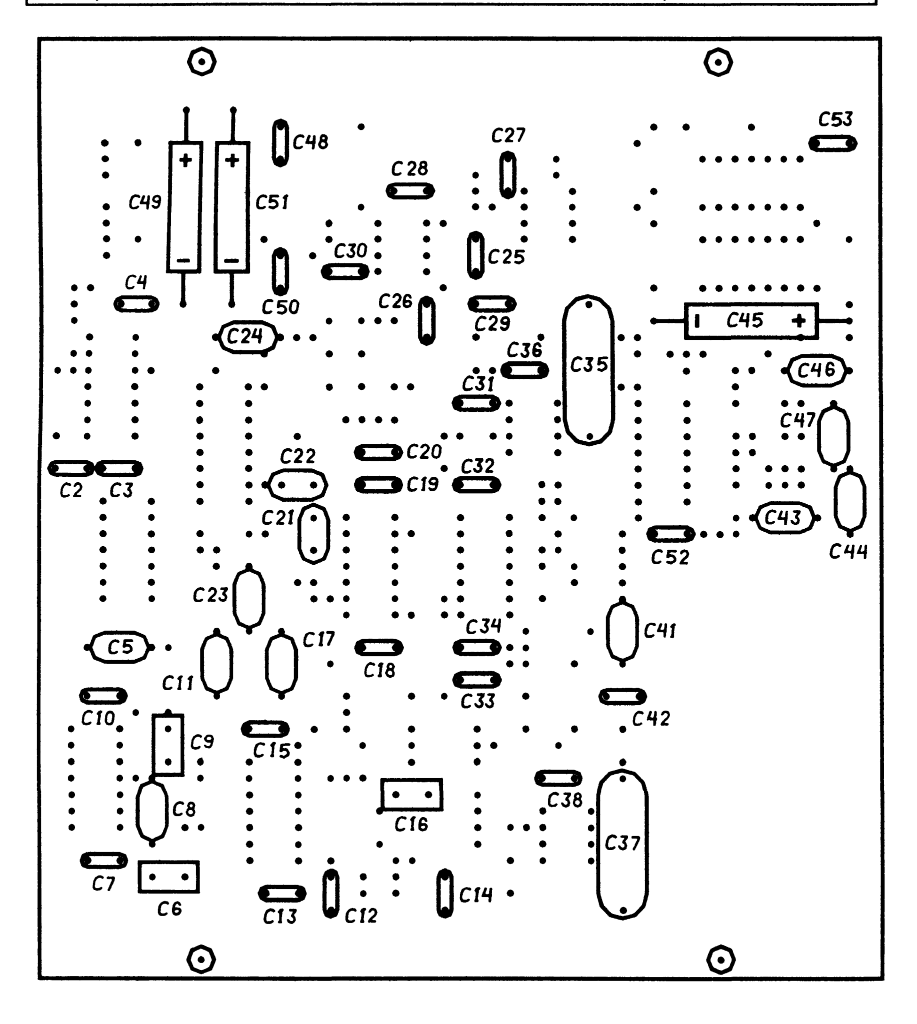


Рис.34. Расположение элементов на печатной плате. Конденсаторы.

Налаживание прибора

Налаживание прибора рекомендуется производить в следующей последовательности.

1. Проверить правильность монтажа по принципиальной схеме. Убедиться в отсутствии коротких замыканий между соседними проводниками печатной платы, соседними ножками микросхем и т.п.
2. Подключить батареи или двуполярный источник питания, строго соблюдая полярность. Включить прибор и измерить потребляемый ток. Он должен составлять около 40(мА) по каждой шине питания. Резкое отклонение измеренных значений от указанной величины свидетельствует о неправильности монтажа или неисправности микросхем.
3. Убедиться в наличии на выходе генератора чистого меандра с частотой около 32(кГц).
4. Убедиться в наличии на выходах триггеров D2 меандра с частотой около 8(кГц).
5. Убедиться в наличии на выходе первого интегратора пилообразного напряжения, а на выходе второго - практически синусоидального с нулевыми постоянными составляющими.

Внимание! Дальнейшую настройку прибора необходимо проводить при отсутствии вблизи катушки датчика металлоискателя крупных металлических предметов, включая измерительные приборы! В противном случае, при перемещении этих предметов или при перемещении датчика относительно них прибор расстроится, а при наличии крупных металлических предметов вблизи датчика настройка будет невозможной.

6. Убедиться в работоспособности усилителя мощности по наличию на его выходе синусоидального напряжения частотой 8 (кГц) с нулевой постоянной составляющей (при подключенном датчике).
7. Настроить колебательный контур датчика в резонанс путем подбора количества конденсаторов колебательного контура и их номинала. Контроль настройки производится грубо - по максимальной амплитуде напряжения контура, точно - по сдвигу фазы в 180^0 между входным и выходным напряжениями усилителя мощности.
8. Заменить резисторный элемент датчика (резисторы R71-R73) постоянным резистором. Подобрать его величину так, чтобы входное и выходное напряжения усилителя мощности были равны по амплитуде.
9. Убедиться в работоспособности приемного усилителя, для чего проверить режим его ОУ и прохождение сигнала.
10. Убедиться в работоспособности схемы компенсации высших гармоник. Потенциометрами настройки R74, R75 добиться минимума сигнала основной гармоники на выходе приемного усилителя. Подбором дополнительного резистора R8 добиться минимума высших гармоник на выходе приемного усилителя. При этом произойдет некоторый разбаланс по основной гармонике. Устранить его настройкой потенциометрами R74, R75 и вновь добиться минимума высших гармоник с помощью подбора резистора R8 и так несколько раз.
11. Убедиться в работоспособности синхронных детекторов. При правильно настроенном датчике и при правильно настроенной схеме компенсации выходные напряжения синхронных детекторов устанавливаются в

ноль приблизительно при среднем положении движков потенциометров R74, R75. Если этого не происходит (при отсутствии ошибок в монтаже), необходимо точнее настроить контур датчика и точнее подобрать его резисторный элемент. Критерием правильной окончательной настройки датчика является балансировка прибора (то есть установка нуля на выходах синхронных детекторов) в среднем положении движков потенциометров R74, R75. При настройке слёдует убедиться, что вблизи состояния балансировки на движение рукоятки потенциометра R74 реагирует только прибор W1, а на движение рукоятки потенциометра R75 - только прибор W2. Если движение рукоятки одного из потенциометров вблизи состояния балансировки отражается на двух приборах одновременно, то с такой ситуацией следует либо смириться (при этом несколько труднее будет балансировать прибор при каждом включении), либо точнее подобрать номинал конденсатора C14.

12. Убедиться в работоспособности фильтров. Постоянная составляющая на их выходах не должна превышать 100(мВ). Если это не так, следует сменить конденсаторы C35, C37 (даже среди пленочных типа К73-17 попадаются бракованные с сопротивлением утечки единицы - десятки мегом). Может потребоваться и замена ОУ D10 и D11. Убедиться в реагировании фильтров на полезный сигнал, который можно сымитировать небольшими поворотами рукояток R74, R75. Наблюдать выходной сигнал фильтров удобно непосредственно с помощью стрелочных приборов W1 и W2. Убедиться в возврате выходного напряжения фильтров в ноль после

воздействия сигналов большой амплитуды (не позже, чем через 2 (сек)).

!

Может так оказаться, что неблагоприятная электромагнитная обстановка затруднит наладку прибора. В этом случае стрелки микроамперметров будут совершать хаотические или периодические колебания при настроенном состоянии прибора в положениях переключателя S1 "Режим 1" и "Режим 2". Описанное нежелательное явление объясняется наводками высших гармоник сети 50(Гц) на катушку датчика. На значительном удалении от проводов с электричеством колебания стрелок при настроенном приборе должны отсутствовать.

13. Убедиться в работоспособности дискриминатора и схемы формирования звукового сигнала.
14. Произвести термическую компенсацию датчика. Для этого сначала необходимо настроить и отбалансировать металлоискатель с резистором вместо резистивного элемента датчика. Затем - немного нагреть датчик на батарее отопления или охладить в холодильнике. Отметить, в каком положении движка потенциометра "металл" R74 будет достигаться балансировка прибора при изменившейся температуре датчика. Замерить сопротивление резистора, временно установленного в датчике, и заменить его на цепочку R71-R73 с термистором и с резисторами таких номиналов, чтобы суммарное сопротивление цепочки R71-R73 было бы равно сопротивлению заменяемого постоянного резистора. Выдержать датчик при комнатной температуре не менее

получаса и повторить эксперимент с изменением температуры. Сравнить полученные результаты. Если точка балансировки по шкале движка R74 смещается в одну сторону, значит, датчик недокомпенсирован и необходимо усилить влияние термистора, ослабив шунтирующее действие резистора R72, для чего увеличить его сопротивление, а сопротивление добавочного резистора R71 - уменьшить (для сохранения величины сопротивления всей цепочки постоянной). Если же точка балансировки для этих двух экспериментов смещается в разные стороны, то датчик перекомпенсирован и необходимо ослабить влияние термистора, усилив шунтирующее действие резистора R72, для чего уменьшить его сопротивление, а сопротивление добавочного резистора R71 - увеличить (для сохранения величины сопротивления всей цепочки постоянной). Проведя несколько экспериментов с подбором резисторов R71 и R72, необходимо добиться, чтобы настроенный и отбалансированный прибор не терял способности для балансировки при изменении температуры на 40°С (охлаждение от комнатной температуры до температуры морозильной камеры холодильника).

При наличии неполадок и отклонений в поведении отдельных узлов схемы металлоискателя следует действовать по общепринятой методике:

- проверить отсутствие самовозбуждения ОУ,
- проверить режимы ОУ по постоянному току,
- сигналы и логические уровни входов/выходов цифровых микросхем, и т.д. и т.п.

Возможные модификации

Схема предложенного индукционного металлоискателя не так проста, как схемы металлоискателей, рассмотренных ранее. Поэтому, с одной стороны, актуально ее **упрощение** для начинающих радиолюбителей. Даже при использовании печатной платы, приведенной в книге, целесообразно начать сборку металлоискателя с упрощенного варианта, и только после его наладки добавить остальные элементы.

С другой стороны, предложенная схема индукционного металлоискателя может послужить удобной "отправной точкой" для более опытных экспериментаторов. Поэтому возможно ее дальнейшее **усовершенствование** и усложнение. Обе возможности подробнее рассмотрены ниже.

Упрощения

Настройка прибора

Упростить настройку (балансировку) прибора можно до предела, уменьшив коэффициент усиления приемного усилителя. При этом уже не потребуются дорогие и дефицитные потенциометры с нониусной подстройкой, а вполне хватит обычных. Может не потребоваться и температурная компенсация датчика. Все зависит от конкретного значения коэффициента усиления. Для начала можно попробовать выбрать его равным единице, положив R19 = 20(кОм), а каскад на ОУ D5.2 - удалить (или удалить только C20, R22, а R20, R21 - заменить перемычками). Конечно, при этом уменьшится дальность обнаружения прибора - приблизительно в полтора раза. Если не эксплуатировать прибор в широком диапазоне температур, то от настроечных потен-

циометров R74, R75 можно вообще отказаться. В этом случае они удаляются из схемы вместе с резисторами R13, R16, а балансировка выполняется один раз при изготовлении и наладке прибора. Балансировка достигается настройкой колебательного контура и выбором соотношения сопротивлений резисторов R15 и R17 в небольших пределах около единицы.

Компенсация высших гармоник

Точнее, речь пойдет об ее отсутствии. Упрощение в этом случае достигается за счет удаления каскада на ОУ D4.1. Удаляются также резисторы R7-R10 и конденсаторы C11-C13. Вывод резистора R11, подключавшийся ранее к выходу ОУ, следует подключить к общей шине. При использовании описанной выше печатной платы со сдвоенными ОУ возможен другой вариант: удаляются резисторы R7-R10 и конденсаторы C11-C12, ОУ D4.1 остается в схеме. С такими изменениями максимально возможный коэффициент усиления приемного усилителя будет приблизительно в два раза меньше из-за увеличения уровня уровня высших гармоник. Ухудшение потенциальной дальности обнаружения будет незначительно, около 10%.

Если предполагается принять упрощения, описанные параграфом выше, то можно удалить все элементы, относящиеся к схеме компенсации высших гармоник. Кроме уже указанных, можно удалить также следующие элементы: R11, R12, R14, C14 и C16.

Переключатель режимов работы

При отсутствии настроечных потенциометров (см. выше) можно упростить цепи, связанные с переключателем

режимов работы. Сам переключатель заменяется тумблером питания на два направления (два контакта на замыкание), а остальные цепи подключаются так, как они подключаются в режимах 1 или 2, по выбору.

Расширение возможностей

Регулятор порога дискриминатора

Как уже отмечалось, порог срабатывания компараторов дискриминатора D12.1 и D12.2 определяется делителем из резисторов R51, R52 и является величиной постоянной. Можно ввести в конструкцию прибора регулятор “Чувствительность”, который представляет собой переменный резистор, шунтирующий резистор делителя напряжения R52. Его рекомендуемая величина - 51(кОм). Для его подключения в конструкции печатной платы прибора предусмотрен вывод с резистора R52 на контакт 5 разъема X3. При максимальной величине сопротивления внешнего переменного резистора чувствительность прибора минимальна. Уменьшая сопротивление этого резистора, будем увеличивать чувствительность прибора.

Необходимо отметить, что увеличение чувствительности связано с увеличением риска ложных срабатываний прибора и поэтому не может быть рекомендовано для всех случаев. Кроме того, желательно включить последовательно с указанным переменным резистором резистор постоянной величины номиналом 5,1(кОм). Эта мера не даст возможности порогам срабатывания компараторов дискриминатора приближаться к нулю.

Фильтры

Для улучшения селективности по отдельным типам обнаруживаемых мишеней возможна следующая модификация: на входы фильтров подаются **не** сигналы с выходов синхронных детекторов, а линейные комбинации выходных сигналов синхронных детекторов. Схемотехнически это реализуется следующим образом: между выходами синхронных детекторов включаются два подстроечных потенциометра, а сигнал на входы фильтров поступает с движков этих потенциометров. Регулировкой потенциометров добиваются, чтобы в режиме 1 прибор выдавал звуковой сигнал только на объекты из определенного металла. Обычно, к металлам "повышенного интереса" относят медь, серебро, золото и их сплавы. Отсечь же с помощью дискриминатора стремятся, в первую очередь, железо, ржавчину, алюминий и природные минералы.

Настройка дискриминатора металлоискателя в данном случае является делом кропотливым, требующим проведения массы экспериментов. Конкретные рекомендации привести сложно, так как настройка зависит как от характера материала предполагаемых объектов для поиска, так и от точности настройки колебательного контура датчика. Дополнительно можно лишь рекомендовать поэкспериментировать с подключением одного из выводов подстроечных потенциометров к выходу синхронного детектора через инвертор (усилитель с коэффициентом усиления минус 1).

6.4 Дисковый датчик

Дисковый датчик является традиционным для металлоискателей на биениях, для металлоискателей по принципу “передача-прием” с компланарным расположением катушек, также он удобен для индукционного металлоискателя. Датчик закрепляется на штанге, см. рис.35.

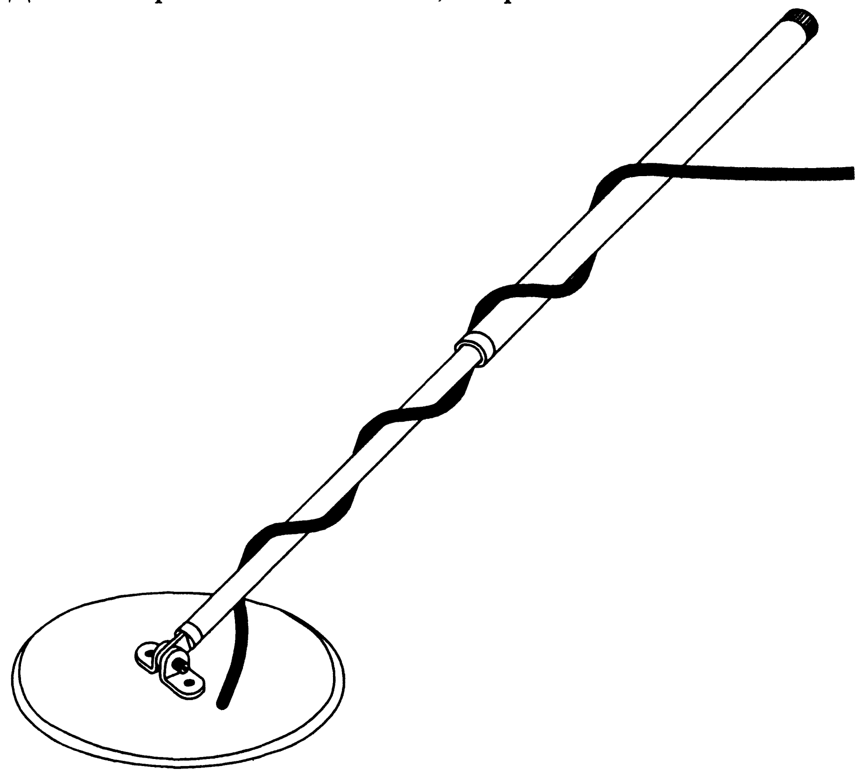


Рис.35. Внешний вид дискового датчика на штанге.

Штанга может быть металлической или стеклопластиковой. Удобны телескопические раздвигающиеся штанги. В любительских целях можно использовать в качестве штанги 2-3 колена от телескопической стеклопластиковой удочки подходящей толщины.

Датчик имеет форму полого диска, изготовленного из пластмассы. Катушки, крепежные и прочие элементы размещаются внутри. Ниже рассмотрена практическая конструкция такого датчика с одной катушкой, предложенная автором (рис. 36).

Датчик состоит из верхней и нижней крышек 1 и 2, в качестве которых используются полиэтиленовые крышки из набора пластиковой посуды. Крышки соединены друг с другом путем сварки. Сварка полиэтиленовых крышек осуществляется по буртику, имеющемуся на краю каждой крышки с помощью паяльника со специальной насадкой. Насадка на жало паяльника для такой сварки представляет собой "V"-образный в поперечном сечении лоток. Внутренней поверхностью насадки-лотка разогревают соприкасающиеся края крышек до расплавления в одном месте, после чего плавно перемещая паяльник с насадкой-лотком, обходят всю длину окружности соприкосновения краев крышек. Прежде чем выполнять такую сварку начисто, настоятельно рекомендуется потренироваться на опытных образцах. Необходимо будет выбрать нужную температуру насадки-лотка (рекомендуемая мощность паяльника - 40Вт), скорость передвижения лотка во время сварки. Рекомендуется паяльник с насадкой-лотком неподвижно закрепить, например, в тисках, а свариваемые детали держать в руках. Для того, чтобы расплавленный полиэтилен не накапливался в насадке-лотке и для получения более аккуратного шва движение насадки-

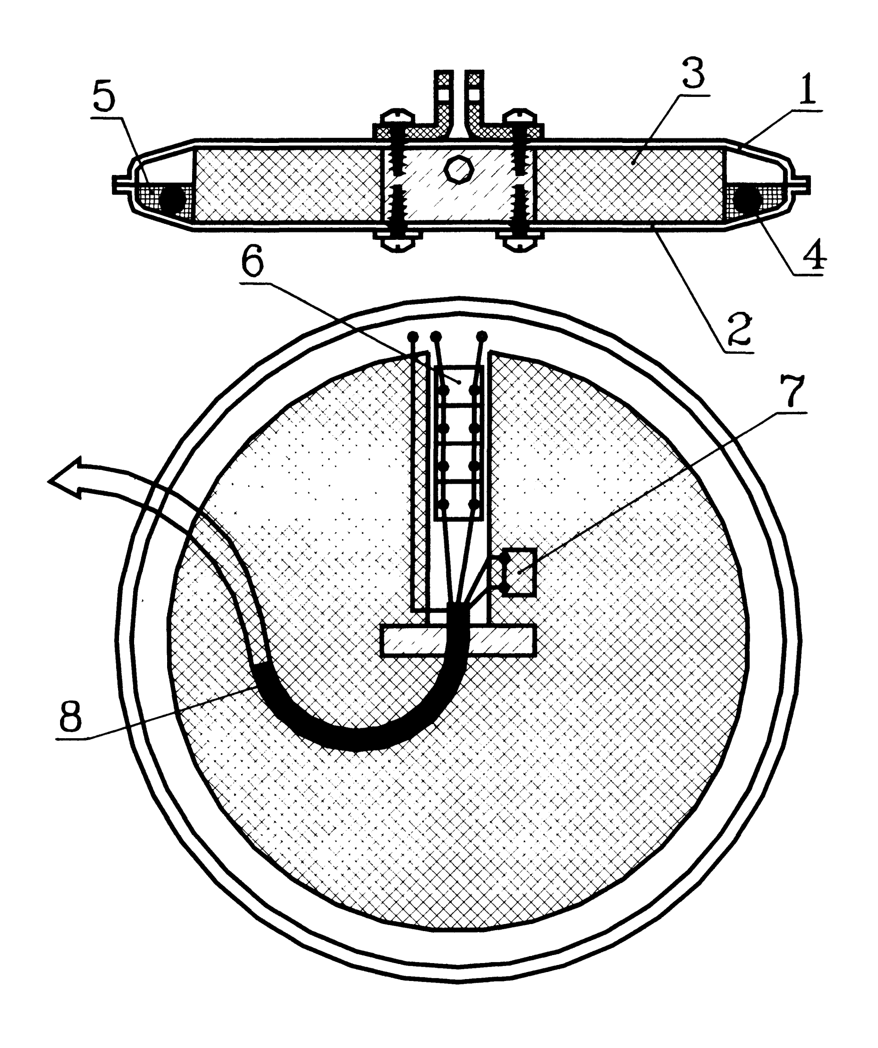


Рис.36. Конструкция дискового датчика.

лотка по окружности необходимо совместить с ее возвратно-поступательными колебаниями амплитудой 2-5(мм). Описанная операция сварки полиэтиленовых деталей трудоемка, однако получаемый в результате герметичный, легкий и прочный корпус датчика оправдывает затраты.

Кроме сварки, дополнительное крепление крышек 1 и 2 осуществляется с помощью центральной планки, изготовленной из винипласта. Она крепится к нижней крышке с помощью винтов-саморезов. После сборки датчика к центральной планке также привинчиваются уголки подвески датчика.

Основной "изюминкой" датчика является необычное для любых других конструкций сочетание пенопласта и эпоксидной смолы. Из пенопласта изготовлен диск-наполнитель 3 датчика. Пенопласт может использоваться практически любой. Широко доступный упаковочный и утеплительный пенопласт (рыхлый, легко крошится руками на отдельные шарики) даже более предпочтителен, чем твердый, так как имеет более крупные и даже сквозные поры, заполняемые в дальнейшем эпоксидной смолой. Диск 3 занимает большую часть объема датчика и при малой массе придает ему необходимую жесткость. Диск вырезают с помощью раскаленной металлической нити (от спирали электронагревательного прибора), подключенной к низковольтному источнику питания. Если имеется листовой пенопласт необходимой толщины, то из необходимых инструментов понадобится только лобзик или лезвие безопасной бритвы. В диске 3 вырезаются пазы необходимой формы и размера для центральной планки, для кабеля 8, для конденсаторов 6 и для других элементов 7 электрической схемы датчика.

Обмотка 4 размещена по внешнему краю диска 3 и залита эпоксидной смолой 5. Обмотка наматывается проводом необходимой марки и толщины на оправке диаметром, превышающем диаметр диска 3 приблизительно на 5(мм). Аккуратно снятая с оправки обмотка закрепляется в 4-х местах липкой лентой для придания ей формы тонкого кольца. Затем это кольцо обматывается липкой лентой (лучше использовать бумажную) шириной 5-10(мм), с максимальным натяжением, см. рис.37. Обмотка липкой лентой должна происходить так, чтобы соседние витки липкой ленты имели достаточный нахлёст. Этот нахлёст придает обмотке датчика требуемую жесткость.

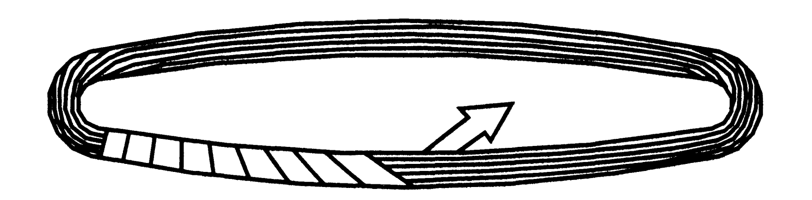


Рис.37. Обмотка катушки липкой лентой.

Аналогичным способом поверх слоя из липкой ленты наносится слой из алюминиевой фольги, служащей экраном обмотки датчика. Для этого фольга нарезается на полосы шириной около 10(мм). Для предотвращения образования короткозамкнутого витка, снижающего добротность контура, обмотка из фольги должна занимать не всю поверхность кольца обмотки датчика - от фольги оставляется свободным небольшой участок длиной 1-2(см). Чтобы фольга не размоталась, последние ее витки закрепляются липкой лентой. Отвод от экрана выполняется одножильным луженым про-

водом без изоляции. Провод закрепляют узлом или с помощью липкой ленты в начале намотки фольги экрана и затем также с натяжением наматывают поверх экрана до его другого конца. Оставшийся конец провода закрепляют липкой лентой и оставляют для подключения свободный его конец длиной 5-10(см). В завершение, кольцо обмотки датчика обматывают сверху липкой лентой по всей поверхности, выпустив наружу выводы обмотки и экрана.

Описанная технология изготовления экранированных катушек датчиков металлоискателей доступна для повторения в любительских условиях. Она не требует таких трудоемких процедур, как пропитка обмоток (эпоксидной смолой, парафином и т.п.), а механическая жесткость обмотки при этом получается высокой, особенно при заливке эпоксидной смолой снаружи.

Сборка датчика происходит в следующей последовательности. На нижнюю крышку 2 датчика с внутренней ее стороны устанавливают центральную планку, устанавливают пенопластовый диск 3 и обмотку 4, через отверстия в верхней крышке 1 и центральной планке продевают кабель 8 и разделывают его конец. Затем устанавливают остальные элементы электрической схемы датчика - конденсаторы, резисторы и т.д. и производят их распайку с выводами кабеля и обмотки катушки датчика. Терморезистор компенсации при этом целесообразно устанавливать в непосредственной близости с обмоткой. Для удобства, радиоэлементы можно смонтировать на небольшой макетной печатной плате.

После этого датчик устанавливают на горизонтальной поверхности и пенопластовый диск 3 прижимают грузом, чтобы не всплывал в эпоксидной смоле. Затем производят заливку датчика смолой или эпоксидным клеем с отверди-

телем. Способность смолы или клея к отверждению необходимо проверить заранее, чтобы не испортить датчик! Заливать датчик рекомендуется до краев нижней крышки 2. Не рекомендуется работать с эпоксидной смолой при температуре ниже +15°С, так как отверждение может затянуться на несколько суток, и выше +25°С ввиду бурного протекания реакции отверждения с выделением большого количества тепла, которое может деформировать датчик.

После затвердевания смолы кабель 8 укладывают в вырезанный под него в диске 3 паз, герметизируют его выход в отверстие верхней крышки 1 силиконовым герметиком и устанавливают верхнюю крышку на место, закрепив ее винтами-саморезами на центральной планке вместе с уголками подвески. В заключении, производят сварку верхней и нижней крышек корпуса датчика описанным ранее способом.

6.5 Кабельный датчик

Недостатком датчика описанной выше конструкции является сложность его изготовления при диаметре обмотки свыше 30(см). Предлагаемый ниже кабельный датчик может быть изготовлен диаметром до 1,5(м). Идея такого датчика не нова и заключается в использовании в качестве катушки датчика отрезка телефонного экранированного кабеля, согнутого в окружность и соответствующим образом распаянного. Жесткость конструкции такого датчика получается ниже, чем у дискового, однако, простота изготовления все оправдывает.

В отличие от дискового датчика, кабельный датчик обладает отрицательной плавучестью (тонет в воде), что удобно для подводных поисков. Кроме того, кабельный

датчик большого диаметра может быть выполнен разборным! Для изготовления датчика необходим телефонный экранированный кабель марки ТПП-30 или ТПП-50, с 30-ю или 50-ю парами проводов соответственно. Из такого кабеля получится обмотка, состоящая из 60-ти или 100 витков. Внешний вид кабельного неразборного датчика приведен на рис.38.

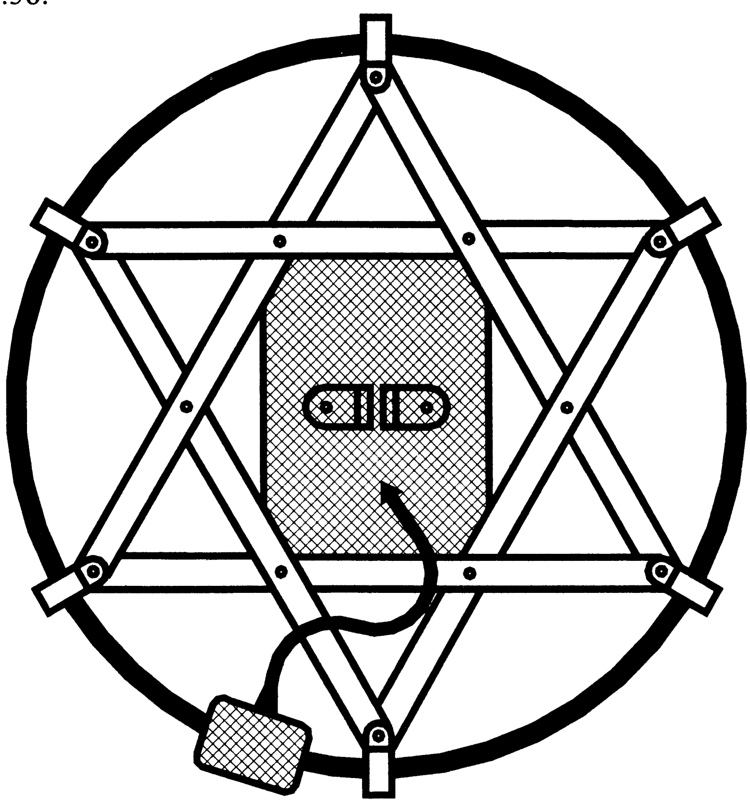


Рис.38. Кабельный датчик. (Не связывать конструкцию с астрологической и национальной символикой! :-)

Датчик состоит из отрезка кабеля - обмотки 1, стеклопластиковых раскосов 2 с винипластовыми креплениями 3 к обмотке 1, соединительной коробки 4 и кабеля 5. Конструкция ясна из рисунка, пояснения требует только способ распайки кабеля и устройство соединительной коробки, на чем и остановимся подробнее.

Для упрощения распайки кабеля необходимо сначала познакомиться с некоторыми особенностями его устройства, что значительно упростит дело. Проводники в отечественном кабеле ТПП (как и в телефонных кабелях многих других типов) свиты по парам. Один из проводников каждой пары является общим и имеет либо ***белый***, либо ***красный*** цвет изоляции. Остальные проводники имеют цвета: ***коричневый, желтый, зеленый, голубой, серый.*** Пары сгруппированы в кабеле по десяткам, каждая десятка обвита своей вискозной нитью. Каждая десятка имеет пять пар с белым общим проводом и пять - с красным. Таким образом, в каждой десятке каждая свитая пара проводов уникальна по сочетанию двух цветов.

Прежде чем начать распайку концов кабеля, необходимо аккуратно произвести их разделку (подготовку). Последняя заключается в разборке проводников кабеля по десяткам и по парам в пределах каждой десятки.



Так как шаг скручивания каждой пары достаточно велик (несведующий человек обычно и не замечает, что проводники скручены по парам), для успешной разборки проводников необходим свободный участок (запас) длиной не менее 0,5(м) с каждого конца заготовленного отрезка кабеля.

Разделку конца кабеля начинают со снятия изоляции, для чего на необходимой длине делают кольцевой надрез наружного пластикового покрытия. Надрезать пластик надо очень аккуратно, чтобы не порезать внутренние жилы кабеля (особенно неизолированный проводник, являющийся выводом экрана). После надрезания, небольшими изгибами в месте надреза (на излом) производят отделение участка внешней изоляции вместе с внутренним алюминиевым экраном. Для удобства, изоляцию надо снимать отрезками по 10-15(см).

После снятия внешней изоляции и экрана, но **до разматывания защитной пленки** (!), необходимо закрепить концы всех проводников (с помощью клейкой ленты или путем скручивания). Неизолированный проводник экрана свертывается отдельно в небольшую бухточку, чтобы не мешал. После этого можно размотать защитную пленку и разобрать пары кабеля по десяткам (каждая десятка обвита своей вискозной нитью).

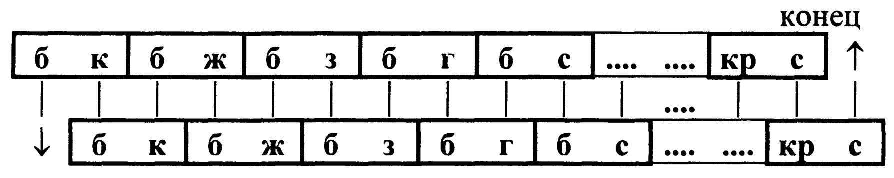
Каждую десятку также фиксируют на конце липкой лентой или скручиванием, после чего пучки десяток можно развести в стороны. Пока кабель еще "свежий" после разделки концов, целесообразно разобрать каждую десятку по парам. Для этого, **не освобождая** от фиксации конец одной из десяток, путем ее продольного сжимания и аккуратного потряхивания и поворачивания, добиваются "рассыпания" пучка проводов на витые пары. Как уже указывалось выше, для этого необходимо иметь длину разделываемой части кабеля **не менее 0,5(м).**

Проводники в каждой паре скрепляются на конце небольшим кусочком липкой ленты (для каждой пары). В дополнительной маркировке нет необходимости, так как в

пределах каждой десятки каждая пара уникальна по сочетанию цветов изоляции. После этого уже легко можно "вызвонить", то есть идентифицировать десятки на каждом конце кабеля, например, присвоив им номера (1,2,3 для 30-ти парного кабеля или 1-5 для 50-ти парного).

После такой предварительной подготовки можно приступать к распайке проводников. Распайку целесообразно проводить в несколько этапов - по десяткам пар. При этом из каждой десятки витых пар кабеля получится изолированная секция будущей обмотки датчика с 20 витками провода. В дальнейшем, отдельные секции включаются последовательно-согласно для образования обмотки с 60 или 100 витками. Распайку ведут согласно приведенной ниже схеме.

ПАРЫ ОДНОГО КОНЦА КАБЕЛЯ
(буквы обозначают цвета)



ПАРЫ ДРУГОГО КОНЦА КАБЕЛЯ

Перед спайкой проводников концы кабеля, там где кончается внешняя защитная пластиковая изоляция, максимально приближаются друг к другу. При этом из кабеля формируется окружность требуемого размера. Кабель и его концы закрепляется в таком положении. В соответствии с предложенной схемой распайки, выбирается один из проводников десятки с одного конца кабеля, один - с другого конца. Например, коричневый провод пары "белый-

коричневый" с одного конца и белый провод аналогичной пары - с другого. Проводники обрезаются до длины 5(см), зачищаются от изоляции, залуживаются и спаиваются вместе. Место спайки изолируется липкой лентой или с помощью тонкой термоусаживающейся трубки.

Таким образом производят распайку пар каждой десятки, а затем спаивают десятки между собой. Если придерживаться предложенной схемы, в итоге должна получиться обмотка с выводом начала в виде провода с белой изоляцией, и с выводом конца - в виде провода с серой изоляцией.

После распайки обмотки место спайки концов кабеля помещают в пластиковую соединительную коробку размерами 40x40x80 (мм). Внутренний объем такой коробки позволяет при небольшом уплотнении разместить спаяные концы 30-ти или 50-ти парного кабеля. Внутренний объем коробки заливается эпоксидной смолой или эпоксидным клеем. Заливка гарантирует надежную дополнительную изоляцию проводов кабеля, предохраняет их от обламывания, обеспечивает прочное механическое соединение концов кабеля.

В соединительной коробке выводы обмотки датчика подключают к концу гибкого кабеля, пропущенного через отверстие в коробке. В коробке также размещаются конденсаторы колебательного контура датчика и другие его элементы, если таковые предусмотрены схемой. Приведенный на рис.38 внешний вид соответствует неразборной конструкции кабельного датчика с внешним диаметром 40(см).

Кабельный датчик может быть без труда выполнен и гораздо большего диаметра. Основными ограничениями является способность оператора манипулировать таким дат-

чиком при работе, а также транспортабельность датчика. Первое ограничение соответствует диаметру датчика не более 1,5(м) при весе до 5(кг). Второе же ограничение побуждает выполнить конструкцию кабельного датчика разборной. На рис.39 изображена конструкция разборного кабельного датчика.

По своему принципу предлагаемая конструкция напоминает конструкцию складного зонта. Датчик состоит из кабельного кольца с соединительной коробкой, из 12-ти стеклопластиковых трубок - раскосов, двух центральных дисков и вспомогательных элементов крепления. Со стороны кабеля трубки - раскосы крепятся с помощью алюминиевых переходных втулок, закрепленных на кабеле скобами и винтами. Переходные втулки свободно всавляются внутрь трубок - раскосов. Аналогичного назначения переходные втулки расположены также и на центральных дисках (по 6 на каждом). Однако, они закреплены с возможностью поворота в небольших пределах, чтобы трубки - раскосы могли двигаться при сборке датчика аналогично тому, как движутся спицы зонта при его открытии. Длина окружности датчика и длина трубок - раскосов подобраны так, чтобы в собранном состоянии кабель обмотки датчика находился в сильном натяжении (не менее 100(н)). При этом необходимо принять соответствующие меры для предотвращения разрыва и повреждения обмотки датчика: тщательно выполнить механическое соединение концов кабеля обмотки в кольцо в соединительной коробке, закруглить острые края переходных втулок в местах контакта с кабелем обмотки датчика и т.п.

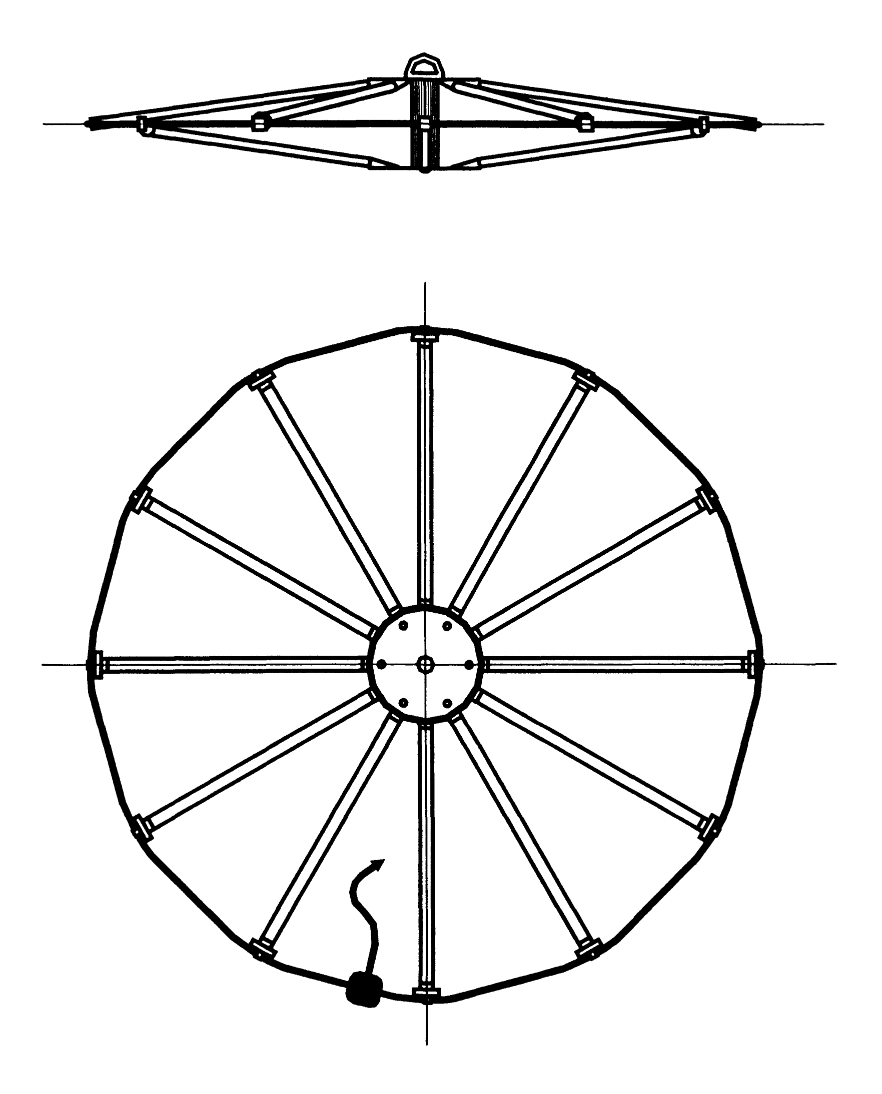


Рис.39. Разборный кабельный датчик.

В разобранном состоянии датчик состоит из отдельных элементов: из кольца кабеля с закрепленными на нем переходными втулками, из 12-ти трубок - раскосов (их удобно хранить в отдельном чехле), из двух центральных дисков, а также из элементов, с помощью которых датчик фиксируется в рабочем состоянии - стягивающего винта с гайкой, центральной упорной втулки и ручки для переноски датчика или крепежного узла для стыковки со штангой.

Определенная хитрость заключается в способе складывания кабеля - обмотки датчика в разобранном состоянии. Кабель хоть и является гибким, но не до такой степени, как бельевая веревка. Он совершенно не допускает изгибов с малым радиусом закругления и продольного кручения.



Любое применение силы при складывании кольца кабеля может привести к разрыву внутренней фольги экрана и к другим повреждениям!

Кольцо кабеля складывается в три витка. Последовательность операций при складывании приведена на рис.40.

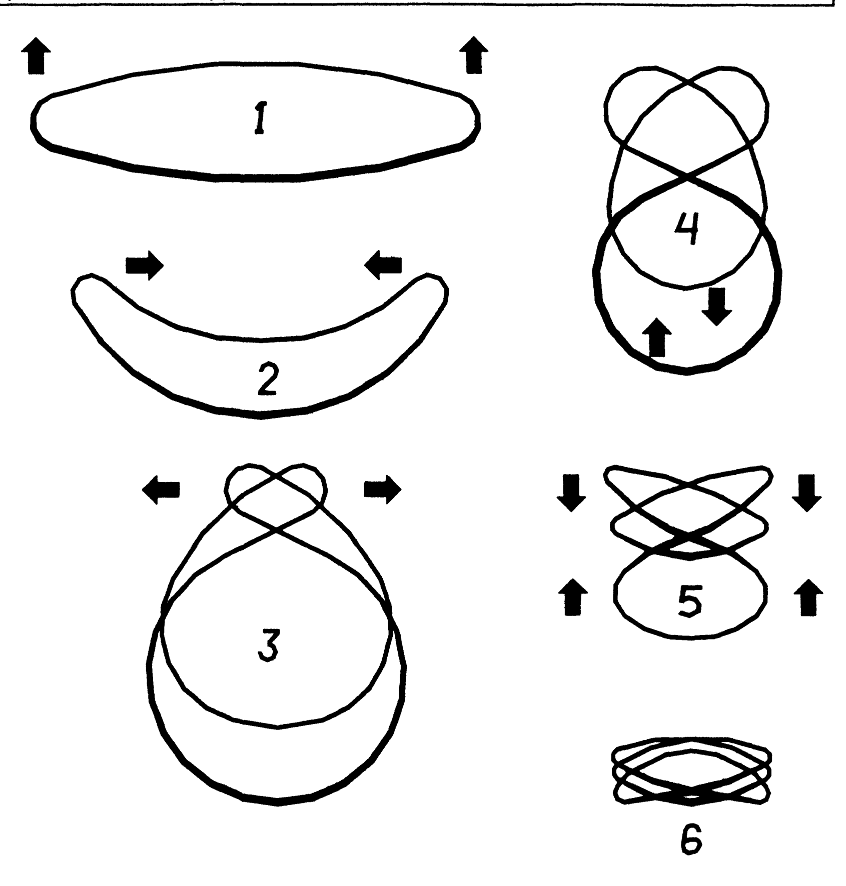


Рис.40. Последовательность складывания кольца кабеля датчика.

6.6 Конструкция универсального корпуса

В радиолюбительской литературе описано множество удачных конструкций различных корпусов для радиоэлектронной устройств. Далеко не все из них подходят для автономных устройств с батарейным питанием, к которым относятся и металлоискатели. К корпусу металлоискателя выдвигается целый ряд требований - компактность, прочность, надежное крепление печатных плат и батарей питания, удобство работы в походных условиях. Существуют и специфические требования, такие как наличие низкоомного и стабильного по времени контакта между массивными металлическими деталями корпуса.

Ниже описана конструкция универсального корпуса, пригодного для размещения "электронной начинки" практически любого металлоискателя средней сложности. Данный корпус пригоден для всех схем металлоискателей, описанных в книге. Автор стремился создать технологичную и несложную в изготовлении конструкцию корпуса, удовлетворяющую всем вышеперечисленным требованиям. На рис. 41 приведен общий вид разработанного автором универсального корпуса.

Корпус состоит из двух **боковин 1 и 2** (см. рис. 41), которые изготовлены из листового алюминиевого сплава толщиной 4(мм). В боковинах имеются отверстия с резьбой М3 под крепежные винты, с помощью которых крепятся остальные части корпуса. На боковине 2 также установлен **разъем 9** для подключения кабеля датчика прибора. Со внутренней стороны боковины 2 имеется контактный лепесток корпуса прибора, через который к нему подключаются

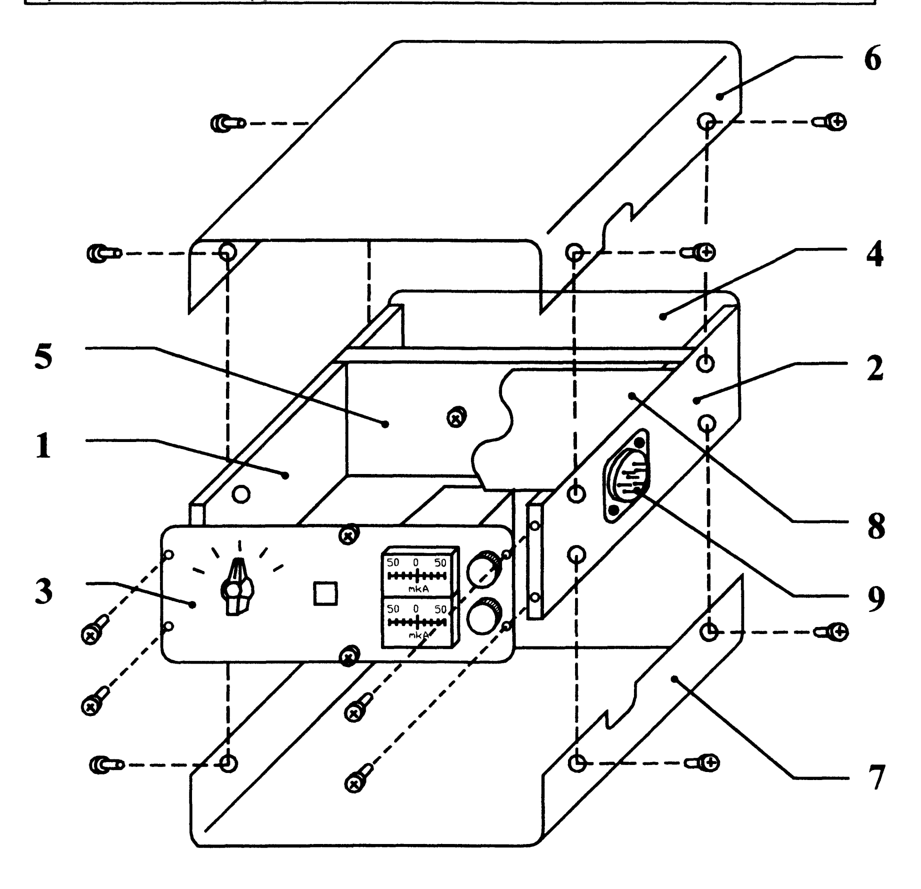


Рис.41. Конструкция универсального корпуса.

общая шина электронной части и экраны кабелей. Этот лепесток зажимается под гайку одного из винтов крепления разъема 9. Металл боковины под контактным лепестком тщательно зачищается. ***Для обеспечения стабильной работы никаких других контактов корпуса прибора с общей шиной электронной части не допускается!***

На **лицевой панели 3** (изображена на примере индукционного металлоискателя) установлены стрелочные приборы, потенциометры балансировки, переключатель режимов работы и пьезоизлучатель (с внутренней стороны). Лицевая панель - двухслойная. Наружный слой - фальшпанель изготовлена из анодированного алюминиевого листа толщиной 0,5 (мм) черного цвета. Гравировкой на ней выполнены необходимые линии и надписи. Непосредственно панель, находящаяся под фальшпанелью, выполнена из листового стеклотекстолита толщиной 2,5 (мм).

Задняя панель 4 - легкосъемная и служит крышкой отсека батарей питания. Она крепится одним винтом к резьбовой втулке, закрепленной на **перегородке 5**. Для того, чтобы задняя панель не прогибалась при затягивании единственного своего крепежного винта, она усилена профилем в виде широкого швеллера, согнутого также, как и панель, из листового алюминиевого сплава толщиной 1 (мм). Профиль и панель скреплены 4-мя винтами М3 с гайками.

Верхняя крышка 6 и **нижняя крышка 7** являются основными защитными элементами корпуса. Крышки изготовлены из листового алюминиевого сплава толщиной 1 (мм). По форме крышки одинаковы и являются 100%-ным зеркальным отражением друг друга.

Печатная плата 8 электронной части прибора крепится к торцевым поверхностям боковин 1 и 2 при помощи винтов, ввинчиваемых в резьбовые отверстия боковин. Печатная плата установлена деталями внутрь корпуса и между ней и верхней крышкой 7 имеется достаточный зазор. Для модификации индукционного металлоискателя и для более сложных приборов предусмотрены резьбовые отверстия в

нижних торцевых поверхностях боковин 1 и 2 для установки дополнительной печатной платы. Она устанавливается параллельно основной печатной плате 8 также деталями внутрь корпуса. Детали на печатных платах размещаются так, чтобы не занимать пространство в местах расположения стрелочных микроамперметров и балансировочных потенциометров.

Винты М3х6 для соединения отдельных частей корпуса использованы из набора крепежа для сборки компьютеров. Они имеют надежное и красивое хромированное покрытие и форму в сечении, слегка отличающуюся от круга (т.е. это своего рода саморезы), что обеспечивает прочное крепление, не развинчивающееся от ударов и вибраций и (!) надежный электрический контакт.

Все алюминиевые детали корпуса желательно подвергнуть электрохимической обработке (анодирование в хромпике), что придаст им не только привлекательный зеленоватый оттенок, но и убережет от коррозии. Несмотря на значительный слой окисла на поверхности анодированного алюминия, контакт между металлическими частями корпуса остается по-прежнему надежным и стабильным. Это достигается применением специальных винтов (см. выше), затягиваемых с достаточным усилием в резьбовые отверстия боковин (без окисла) и контактирующих с внутренними поверхностями отверстий деталей (также без окисла - рассверленных).

7. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Природу не обманешь - ее законы объективны и недосягаемы для власти человека. Коль мы не в состоянии изменить уравнения Максвелла, - ждать, что в будущем электронные металлоискатели совершат кардинальный скачок по глубине обнаружения предметов, увы, не приходится.

Иное дело - селективность по металлам, а точнее говоря, - по типам обнаруживаемых мишеней. Активность разработок ведущих зарубежных фирм, выпускающих электронные металлоискатели, в последние годы была сконцентрирована именно вокруг данной задачи.

Практически можно считать разрешенной задачу отделения (дискриминацию) нежелательных сигналов от такого типичного металлического мусора, как алюминиевая фольга, железные и алюминиевые пробки от бутылок, ржавчина. Дискриминация основана на обработке сигналов от двух каналов электронной части металлоискателя и по своей сути является сортировкой сигналов, отраженных от различных мишеней, по фазе.

Широкое распространение получила компьютеризация металлоискателей, точнее говоря, применение КМОП-микропроцессорной техники в совокупности с многофункциональными жидкокристаллическими дисплеями. Справедливости ради, следует отметить, что применение встроенного в металлоискатель микроконтроллера дает только всевозможные удобства пользователю, не улучшая, по сравнению с аналогичным прибором без микропроцессора, основные параметры.

Однако, несмотря на очевидный прогресс в разработках ведущих фирм, существует, по мнению автора, **новое** актуальное направление, в котором следует ожидать дальнейших качественных изменений. И это направление также связано с улучшением селективности металлоискателей, то есть с их способности различать те или иные металлы. Всю историю последних тысячелетий человечество стремилось к золоту. Поэтому очень актуален прибор, позволяющий отличить, грубо говоря, горшок с монетами от выброшенного "в лучших традициях", за ненадобностью, заднего моста от колхозного грузовика. Здесь уже мало будет прибора, способного отличить железную пробку от монеты. Необходим прибор, реагирующий на тип металла для объектов произвольной формы и произвольного размера.

.На каких же основных принципах можно построить такой электронный металлоискатель? Ответом на вопрос может служить известный научный факт - по анализу частотной характеристики отраженного сигнала можно достаточно точно определить принадлежность неизвестной мишени к проводящему материалу того или иного типа, см. [32], стр. 196. Следовательно, такой прибор в принципе не может работать на **гармоническом** (синусоидальном) сигнале **фиксированной** частоты. Остаются два варианта - изменять частоту и регистрировать частотную характеристику (в терминах [32] - характеристический профиль мишени), либо излучать не гармонический сигнал, а сигнал со сложным спектром, и регистрировать одновременно компоненты этого спектра в отраженном сигнале.

Первый из этих вариантов был предложен еще в работе [1], однако автору неизвестно ни одно из его реальных воплощений. По всей видимости, достаточно длительная во

времени процедура анализа частотной характеристики сигнала неприемлема для мобильных приборов поиска.

Второй вариант представляется гораздо более предпочтительным, так как **одновременный** анализ компонент спектра экономит время. Более удобна и практическая реализация - по своей схемотехнике прибор может быть аналогичным описанным выше металлоискателям индукционного типа и по принципу "передача-прием", с разницей лишь в форме излучаемого сигнала, количестве каналов и устройстве обработки.

Сформировать излучаемый сигнал для такого прибора также несложно. Простейшим решением является генерирование сигнала напряжения прямоугольной формы (меандр), имеющего линейчатый спектр из нечетных гармоник.

Излучающая катушка (колебательный контур в данном случае не подходит) будет по-разному преобразовывать различные компоненты спектра подаваемого на нее сигнала напряжения в ток ввиду индуктивного характера своего импеданса. Для того, чтобы чувствительность по каналам металлоискателя, соответствующим различным линиям спектра сигнала, была одинаковой, целесообразно использовать не меандр, а сигнал более сложной формы, у которого высокочастотные линии спектра имеют большую амплитуду. Вполне вероятно, что для предлагаемого прибора нового типа потребуется не столь редкий линейчатый спектр, как у меандра. В данном случае универсальным решением может оказаться цифровой генератор псевдослучайной последовательности на сдвиговом регистре небольшой длины (в сочетании с перемножением на меандр несущей частоты). Формирование таких сигналов вполне реализуемо цифровыми

методами как с помощью микропроцессоров, так и с помощью обычных микросхем низкой степени интеграции.

Интересным является вопрос - какое количество линий спектра анализировать? Очевидно, что для обычной схемотехники оно ограничено количеством каналов металлоискателя, т.е. разумными аппаратурными затратами. Разумным ограничением для аналоговой реализации является, по мнению автора три линии спектра (шесть каналов металлоискателя). Их оптимальные относительные амплитуды и частоты требуют дальнейшего изучения.

Стремительный прогресс микроэлектроники и цифровой микропроцессорной техники позволяет надеяться, что возможен в недалеком будущем и другой вариант реализации металлоискателя нового типа. Его основная идея заключается в переноске "центра тяжести" с аналоговой части прибора на цифровую. Анализ спектра отраженного сигнала будет реализован программно с помощью микропроцессора. В данном случае рост количества анализируемых линий спектра не будет приводить к дополнительным аппаратурным затратам. Такой металлоискатель будет содержать микропроцессорный микроконтроллер, 16-разрядный АЦП, предварительный усилитель, выходной формирователь, устройство индикации. Допустимая степень сложности обработки информации будет зависеть от размера программы (от объема ПЗУ и ОЗУ) и от производительности микропроцессора (определяется допустимой мощностью, потребляемой от аккумулятора).

Кто знает, быть может один из молодых читателей этой книги будет писать программы для таких металлоискателей...

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. **Нейбергер Н. А.**, Исследование и разработка способа и аппаратуры для бесконтактного выявления подземных коммуникаций: диссертация на соискание ученой степени к.т.н.-Львов: АН УССР, Физико-механический институт им. Г.В.Карпенко, 1982.
2. **Бахмутский В. Ф.**, Методы и аппаратура для отыскания мест повреждений в кабелях дальней связи и для обнаружения кабелей: диссертация на соискание ученой степени к.т.н.-Львов: МВ и ССО УССР, Львовский ордена Ленина политехнический институт, 1968.
3. **Charles Garrett**, Modern Metal Detectors: N-Y., 1992.
4. **Корзухина Г. Ф.**, Русские клады 9-13 вв.: М. – Л., изд-во АН СССР, 1954.
5. **Векслер А., Мельникова А.**, Московские клады: М., Московский рабочий, 1988.
6. **Котляр Н.**, Кладоискательство и нумизматика: Киев, 1974.
7. **Быков А. В.**, Клады 30 - 40 годов XVII века: Вологда, 1992.
8. **Витевский В. Н.**, Клады и кладоискание на Руси: Казань, 1893.
9. **Ильин А. А.**, Топография кладов серебряных и золотых слитков: Петроград, 1921.
10. **Ильин А. А.**, Топография кладов древних русских монет X - XI вв и монет удельного периода: Л., 1924.
11. Клады смутного времени 1605 - 1619 гг. (сборник): М., 1989.
12. **Кузнецов Е. В.**, Кладоискание и предание о кладах в Западной Сибири: Тобольск, 1896.

13. **Марков А. К.**, Топография кладов восточных монет: СПб., 1910.
14. **Савельев П. С.**, Клады с восточными монетами, находимые в России: СПб., 1842.
15. **Моисеев С. А.**, Сокровища ненайденных кладов (кладоискательство как сверхдоходный бизнес), Саратов, 1995.
16. **Вахрушин С. И., Кулешов Ю. Г., Станюкович. А. К.**, Применение металлоискателей в археологии. // Новое в применении физико-математических методов в археологии: М., Наука, 1979. С. 58-63.
17. **Станюкович А. К., Атавин А. Г., Данилова О. М., Кулешов Ю. Г.**, Применение метода электромагнитной индукции в археологических разведках и раскопках. // Региональная геология некоторых районов СССР. Вып. 2: М., МГУ, 1977. С. 151-155.
18. **Станюкович А. К.**, Археологическая геофизика в России // Геофизика, 1996, № 12. С. 57-64.
19. **Станюкович А. К.**, Основные методы полевой археологической геофизики. // Естественно-научные методы в археологии. Вып. 1: М., ИА РАН, 1997. С.19-42.
20. **Станюкович А. К.**, Применение металлоискателей на памятниках археологии Арктики. // Памятниковедение. Проблемы изучения историко-культурной среды Арктики: М., НИИ Культуры, 1990. С. 187-196.
21. **Отступник И. А.**, Энциклопедия кладоискателя: С-Пб., Респекс, 1998.
22. **Dorothy B. Francis**, Metal Detecting For Treasure: Washington, 1993.
23. DetectionNet.- **http://www.detection.com**
24. TreasureNet.- **http://www.treasurenet.com**

25. **Булгак Л., Степанов А.**, Современные электронные металлоискатели: М., 1996.
26. **Щелоков А. А.**, Монеты СССР: Каталог - М.: **Финансы** и статистика, 1989.
27. **Орлов А. П.**, Монеты России: Минск, Паблисити, 1994.
28. **Узденников В. В.**, Монеты России 1700 – 1917: М., ДатаСтром, 1992.
29. **Мельникова А. С.**, Русские монеты от Ивана Грозного до Петра Первого: М., **Финансы** и статистика, 1989.
30. **Орешников А. В.**, Русские монеты до 1547 г.: М., 1896.
31. **Станюкович А. К.**, "Катюша" из сорок первого: итоги комплексных поисковых работ // Памятниковедение. Изучение памятников истории и культуры в гидросфере. Вып. 2: М., НИИ Культуры, 1991. С. 89-102.
32. **Бэрк Г.Ю.**, Справочное пособие по магнитным явлениям: Пер. с англ.- М.: Энергоатомиздат, 1991.-384 с.

Здесь могла бы быть реклама. Однако, побережем от нее наших любимых читателей. Пусть хотя бы в одной книге её не будет.

АВТОРЫ



Щедрин Андрей Игоревич — инженер по образованию и по призванию. Однако, предмет книги — всего лишь хобби, случайно возникшее однажды и надолго захватившее автора.

С автором можно связаться по e-mail:
aish@aha.ru
aish@com2com.ru
aish_aish@usa.net

Интернет-версию книги можно найти на страничке автора:
http://www.aha.ru/~aish



Осипов Илья Николаевич сделал хобби своей второй профессией. Детская страсть к кладоискательству переросла в профессиональный поиск кладов и реликвий прошлых веков. В настоящее время он — зам. директора фирмы «Родонит», специализирующейся на поиске кладов, производстве и торговле поисковой техникой.

С автором можно связаться по e-mail: **osipov@glas.apc.org**
Координаты фирмы «Родонит»: **rodonit@orc.ru**
телефон **(095) 165-90-18**
тел/факс **(095) 301-25-14**